

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 40 37 383 A 1

51 Int. Cl.⁵:
G01 B 11/24
G 01 C 3/32

21 Aktenzeichen: P 40 37 383.5
22 Anmeldetag: 20. 11. 90
43 Offenlegungstag: 21. 5. 92

DE 40 37 383 A 1

71 Anmelder:

Mesacon Gesellschaft für Meßtechnik mbH, 4600
Dortmund, DE

74 Vertreter:

Wenzel, H., Dipl.-Ing., 2000 Hamburg; Kalkoff, H.,
Dipl.-Ing.; Wrede, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 5810
Witten

72 Erfinder:

Wienecke, Siegfried, Dr., 4600 Dortmund, DE

54 Verfahren zum kontinuierlichen berührungsfreien Messen von Profilen und Einrichtung zur Durchführung des Meßverfahrens

- 57 Bei einem Verfahren zum kontinuierlichen berührungsfreien Messen von Profilen, insbesondere von sich in axiale Richtung bewegendem Profilen, mit dem auch innere Konturen eines Profils, soweit diese für einen Meßstrahl erreichbar sind und eine Reflexion auf einen Empfänger zulassen, ausgemessen werden können, werden Sonden, mit denen nach dem Triangulationsprinzip mittels eines Laserlicht-Meßstrahls ein Oberflächensegment eines Objektes in einem bestimmten Meßbereich der jeweiligen Sonde sequentiell bzw. punktwise nacheinander sowie mit variabler und voreinstellbarer Schrittweite bzw. Auflösung innerhalb des Meßbereichs kontinuierlich abgetastet wird und mit dem von der Objektoberfläche reflektierten und von einem feststehenden Empfänger aufgenommenen Strahl aufgrund der geometrischen Beziehungen der Abstand jedes Meßpunktes zur Sonde in Form von lokaler Meßdaten bestimmt wird, in einer Halterung rings um das Profil sowie im Abstand von diesem und dazwischen in vorbestimmten Winkellagen zueinander angeordnet, daß dem Meßbereich jeder Sonde als Oberflächensegment ein Konturensegment des Profils zugeordnet wird, und zwar mit überlappenden Meßbereichen benachbarter Sonden sowie mit einer Systemkalibrierung mit einem konturen- und maßgenauen Referenzwerkstück, zur Übertragung der Konturensegmente in ein globales Koordinatensystem und zum Zusammenfügen eines Gesamtbildes.

DE 40 37 383 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontinuierlichen berührungsfreien Messen von Profilen, insbesondere von sich in axialer Richtung bewegendem Profilen, sowie eine Einrichtung zur Durchführung eines Meßverfahrens für Profile.

Bei der Herstellung von gewalzten, gezogenen oder extrudierten Profilen beispielsweise aus Stahl, Aluminium oder Kunststoff ist es wichtig, Informationen über die Kontur bzw. den Querschnitt des Profils möglichst noch während des Produktionsprozesses zu erhalten. Die Informationen werden zur Überwachung der Einhaltung der Toleranzen ebenso gebraucht wie für eine lückenlose Dokumentation der Fertigungsergebnisse. Dieser Bedarf hat zur Entwicklung und Einführung von Verfahren und Einrichtungen zum kontinuierlichen Messen bzw. Vermessen von Profilen im On-Line-Betrieb geführt. Die Kontrolle und Vermessung der Profile hat unmittelbaren Einfluß auf die Fertigung, weil die Möglichkeit besteht, auf etwaige unerwünschte Dimensions- oder Profilabweichungen rasch reagieren zu können.

Die bisher bekannten Verfahren und Einrichtungen zum Messen bzw. Vermessen von Profilen beruhen entweder auf dem Abschattungsprinzip oder folgen dem Lichtschnittverfahren.

Bei dem Abschattungssystem durchquert das Profil einen Lichtvorhang parallel abgelenkter Lichtstrahlen insbesondere Laserlichtstrahlen. Die Zeit, die verstreicht, während derer die Strahlen durch das Profil abgedeckt werden, wird gemessen. Dieser Wert spiegelt jedoch nur den äußeren Profilquerschnitt wider. Im Regelfall reicht es nicht aus, in einer Winkellage des Querschnitts den Abstand der am weitesten entfernten Materialpunkte zu vermessen. Rundmaterial kann z. B. durch Unrundheit in einer Richtung die Toleranzanforderungen erfüllen, um 90° dazu versetzt jedoch außerhalb des Toleranzbereichs liegen.

Es ist auch bekannt, durch Rotation oder Oszillation des Meßgerätes eine vollständige Rundumabtastung des Profils vorzunehmen. Hierbei ergeben sich jedoch Schwierigkeiten. Zum einen kann die Rotation oder Oszillation nur mit begrenzter Frequenz durchgeführt werden. Bei einem bekannten System dieser Art liegt die Rotationsgeschwindigkeit beispielsweise zwischen 60 und 200 U/min. Zum anderen stellt dieses System hohe Anforderungen an die Meßgeräte sowie an die Zuführungssysteme für Medien wie Wasser und Luft und schließlich an die Signal- und Spannungsquellen- bzw. Leitungssysteme.

Ein sehr wesentlicher Nachteil der Abschattungsmeßsysteme besteht darin, daß mit diesem Meßverfahren kein konkaver Oberflächenverlauf detektiert werden kann. Ebenso können verdeckte Kanten, wie sie beim Winkel-, T- oder Doppel-T-Profil auftreten, mit diesem Meßverfahren nicht gemessen werden.

Bei dem Lichtschnittverfahren wird ein Laserstrahl entweder über eine Zylinderlinse aufgeweitet oder mittels eines Resonanzspiegels abgelenkt und erzeugt auf diese Weise ein Lichtband auf der Oberfläche. Die Beleuchtungsrichtung und Abbildungsrichtung bilden dabei ein festes Winkelverhältnis. Deshalb gestattet das Lichtschnittverfahren ein Abstandsmeßverfahren, bei dem eine Vielzahl von Punkten gleichzeitig auf das zu vermessende Profil gebracht werden. Als Detektoren werden flächenhafte Empfänger eingesetzt. Die mit vertretbarem Aufwand einsetzbaren CCD-Arrays besitzen

jedoch nur eine geringe Pixelzahl von ca. 512×512 Punkten. Damit wird jedoch bei vorgegebener ausreichender Auflösung der zur Verfügung stehende Meßbereich eingeengt. Nachteilig ist ferner, daß aufwendige und zeitraubende Algorithmen für die Auswertung der CCD-Arrays notwendig sind. Hierbei handelt es sich um spezielle Algorithmen für die Meßdatenselektion oder um die Verwendung zweidimensionaler, statistischer Operationen.

Es besteht daher die Aufgabe, ein Verfahren zum Messen von Profilen zu schaffen, mit dem auch innere Konturen eines Profils, die für einen Meßstrahl erreichbar sind und eine Reflexion auf den Empfänger zulassen, ausgemessen werden können. Das Verfahren soll darüber hinaus möglichst eine hohe Meßgeschwindigkeit und Meßgenauigkeit zulassen. Es soll den Einsatz von zuverlässigen Meßeinrichtungen erlauben, die relativ unempfindlich gegen äußere Einflüsse sind oder zumindest mit geringem Aufwand gegenüber störenden bzw. schädlichen Einflüssen unempfindlich zu machen bzw. zu schützen sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Sonden, mit denen nach dem Triangulationsprinzip mittels eines Laserlicht-Meßstrahls ein Oberflächensegment eines Objektes in einem bestimmten Meßbereich der jeweiligen Sonde sequentiell bzw. punktwise nacheinander sowie mit variabler und voreinstellbarer Schrittweite bzw. Auflösung innerhalb des Meßbereichs kontinuierlich abgetastet wird und mit dem von der Objektoberfläche reflektierten und von einem feststehenden Empfänger aufgenommenen Strahl aufgrund der geometrischen Beziehungen der Abstand jedes Meßpunktes zur Sonde in Form lokaler Meßdaten bestimmt wird, in einer Halterung rings um das Profil sowie im Abstand von diesem und derart in vorbestimmten Winkellagen zueinander angeordnet werden, daß dem Meßbereich jeder Sonde als Oberflächensegment ein Konturensegment des Profils zugeordnet wird, wobei sich die Meßbereiche benachbarter Sonden überlappen und die zu messende Gesamtkontur des Profils durch die Meßbereiche erfaßt wird, und daß eine Systemkalibrierung mit einem konturen- und maßgenauen Referenzwerkstück durch Ermittlung der Sondenpositionen (drei Koordinaten, zwei Abstrahlwinkel) in einem Referenzkoordinatensystem vorgenommen wird und daß mit den Daten der Systemkalibrierung, den vorgegebenen Soll-daten des Profils und den lokalen Meßdaten, die sich als Schnittpunkt des Meßstrahls mit dem Objekt ergeben, sowie mit einer Lageberechnung für das zu messende Profil und über Koordinatentransformationen die Konturensegmente in ein globales Koordinatensystem übertragen und zu einem Bild zusammengefügt werden.

Im Gegensatz zu dem bekannten Stand der Technik liegt der Erfindung folglich der Gedanke zugrunde, die Kontur eines Profils, das ohne weiteres auch in einem oder mehreren Bereichen einen konkaven Oberflächenverlauf haben oder auch wie die vorgenannten Winkel-, T- oder Doppel-T-Profil verdeckte Kanten haben kann, nacheinander punktwise so abzutasten, daß von jedem Meßpunkt eine genaue Abstandsinformation zu einer festen Bezugsebene in Form von Signalen bzw. in Form von lokalen Meßdaten erhalten wird, die sich in geeigneter Weise, wie noch dargestellt wird, weiterverarbeiten lassen, um den gewünschten Aufschluß über die Profilkontur zu gewinnen. Die erfindungsgemäße Anordnung von nach dem Triangulationsprinzip arbeitenden Sonden derart, daß sich die Meßbereiche benachbarter Sonden überlappen, ermöglicht eine Ver-

knüpfung der von den Sonden erhaltenen lokalen Meßdaten zur Zusammenfügung und Darstellung der Gesamtkontur. Das im Rahmen der Erfindung verwendete und für Oberflächenmessungen bereits bekannte Triangulationsverfahren wird im zweiten Teil der Beschreibung anhand von Abbildungen in seinen Grundzügen erläutert.

Zur Abgrenzung gegenüber dem Lichtschnittverfahren sei darauf hingewiesen, daß bei dem bekannten Lichtschnittverfahren keine sequentielle bzw. punktweise nacheinander vorgenommene Abstandsmessung erfolgt sondern statt dessen gleichzeitig praktisch eine Punktemenge in Form eines Lichtstrichs auf das Profil aufgebracht und die Reflexion detektiert wird, so daß für die Detektion notwendigerweise ein zweidimensionaler Empfänger benötigt wird. Abgesehen von den bereits erwähnten komplexen Algorithmen für die Auswertung der zweidimensionalen Bildinformation ist auch eine wesentlich längere Belichtungszeit für das Empfänger-Array nötig als z. B. für die positionsempfindliche Diode oder die CCD-Zeile wie bei der Erfindung. Der Unterschied liegt hier ungefähr bei einem Faktor 10 für die Belichtungszeit.

Nachstehend werden eine Reihe von Vorteilen erläutert, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht werden:

Zunächst sei noch einmal darauf hingewiesen, daß der Einsatz von Triangulationssonden ermöglicht, auch innenliegende, nämlich z. B. konkave Konturen in der Oberfläche des Profils, aber auch verdeckte Kanten wie bei Doppel-T-Trägern oder U-Profilen detektieren zu können.

Sehr wesentlich ist ein weiterer Vorteil, wonach der einstellbare Abtastbereich dem zu vermessenden Profil angepaßt werden kann, so daß für Profile mit unterschiedlichen Abmessungen keineswegs immer der vollständige Meßbereich der jeweiligen Meßeinrichtung durchlaufen werden muß. Hierdurch erreicht man eine Steuerung bzw. Beeinflussung der Abtastgeschwindigkeit. Des weiteren stehen in kurzen Zeitintervallen von beispielsweise 2 ms bei im Handel erhältlichen Sonden, bei denen diese Zeitintervalle durch die Positionierzeit des Spiegels und durch die Belichtungszeit des Empfängers bestimmt sind, Meßdaten für die Lageberechnung und für die Berechnung der spezifischen Profilgeometrie zur Verfügung.

Ein weiterer sehr wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Positionierung jedes Lichtpunktes individuell gewählt bzw. über die Ansteuerung des die schrittweise Abtastung bewirkenden Spiegelsystems vorgegeben werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, die Punktdichte in interessanten und kritischen Bereichen maximal zu wählen, also ein maximales Auflösungsvermögen zu erreichen, und in Bereichen mit untergeordneter Aussagekraft geringer einzustellen. Das maximale Auflösungsvermögen richtet sich nach kleinsten einstellbaren Quantisierungsstufen des Spiegelscanners, die durch die kleinste Schrittweite bestimmt ist. Der gesamte Abtastbereich ist bei einer im Handel erhältlichen Sonde beispielsweise in 2048 Schritte aufgeteilt. Die Positionierung läßt sich, aber so einstellen, daß entweder jeder diskrete Winkelschritt angesteuert wird, also jeder nur mögliche Meßpunkt benutzt und dessen Abstand gemessen wird oder daß mit einer beliebig vorgewählten Schrittweite der jeweiligen Sonde zugeordnete Meßbereich durchfahren bzw. das zugeordnete Konturensegment des Profils abgetastet wird oder daß die Schrittweite einem

festlegbaren Anforderungsmuster folgend, das von der jeweiligen Bedeutung der einzelnen Bereiche, aus denen das Konturensegment zusammengesetzt ist, ausgeht, individuell angepaßt wird. Durch diese Variation der Auflösung bzw. der gezielten Punktdichte werden unnötige Punkte und damit unnötige Zeitverluste sowie überflüssige Meßdatenverarbeitungen vermieden.

Hieraus ergibt sich bereits ein ebenfalls sehr wesentlicher Vorteil, wonach nämlich durch die Variation der Auflösung höhere Meßgeschwindigkeiten bzw. Meßfrequenzen erzielt werden.

Der sehr wesentliche Vorteil einer vergleichsweise kürzeren Belichtungszeit ist bereits erwähnt worden. In Verbindung mit der Positionierzeit für die Spiegelauslenkung, die ca. 1 ms beträgt, kann bereits nach ca. 2 ms mit der Datenauswertung, nämlich der Datenselektierung und mit der Koordinatentransformation begonnen werden, und es liegen zu diesem Zeitpunkt bereits erste Werte über die Kontur vor.

Erfindungsgemäß wird jeder Sonde ein bestimmtes Konturensegment des Profils zugeordnet. Die Anordnung der Triangulationssonden um das zu vermessende Profil richtet sich nach den zulässigen Reflexionswinkeln, den Materialgeometrien und der Oberflächenbeschaffenheit des zu prüfenden Profils. Wie später aus einer entsprechenden Darstellung hervorgeht, liegt z. B. der zulässige Reflexionswinkel bei dem Vermessen eines Rundprofils je nach Materialbeschaffenheit bei maximal etwa 45°.

Die bei den einzelnen Sonden anfallenden lokalen Meßdaten, also die Abstandswerte, werden über Koordinatentransformationen und spezielle Algorithmen für die Lageberechnung in das Referenzkoordinatensystem transformiert und so zu einem Gesamtbild zusammengefügt.

Als weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Möglichkeit der einfachen Auswertung der CCD-Zeileninformation zu nennen. Die Adresse des belichteten CCD-Pixels gibt den Abstandswert wieder. Diesem Zählerstand wird dabei ein binärer Zahlenwert zugeordnet, der mit dem Auflösungsfaktor multipliziert einen Abstandswert in Polarkoordinaten angibt. Um den tatsächlichen Abstand des Konturensegments zur Sondenbezugs-kante zu erhalten, muß dieser Abstandswert des Bildsensors von Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten transformiert werden. Diese Transformation geschieht nach folgender Umrechnungsformel:

$$\begin{aligned} x_u &= l \times \sin \alpha, \\ z_u &= l \times \cos \alpha. \end{aligned}$$

Dabei ist l der Basisabstand, und der Winkel α entspricht der Winkelauslenkung des Spiegelantriebssystems. Diese lokalen Meßdaten werden anschließend mit Hilfe der Rekonstruktions- und Lagebestimmungsprogramme in das Referenzkoordinatensystem transformiert.

Die Meßstrahlen der Sonden müssen nicht notwendigerweise in einer gemeinsamen Meßebene quer zu dem zu messenden Profil liegen. Eine erfindungsgemäße Weiterbildung des Verfahrens besteht vielmehr darin, daß die Meßstrahlen der Sonden in in Achsrichtung des Profils parallel versetzten Ebenen auf das Profil gerichtet und reflektiert werden. Dabei befinden sich die Ebenen, in denen die Meßstrahlen liegen, in festem Abstand zueinander. Das Messen in verschiedenen Ebenen schließt eine gegenseitige Beeinflussung der Meßergeb-

nisse vor allem benachbarter Sonden, die einen Überlappungsbereich aufweisen, aus.

Insbesondere für Rundprofile und andere Profile mit relativ gleichmäßigem Konturenverlauf längs des Umfangs ist es vorteilhaft, wenn die Sonden mit gleichem Winkelabstand symmetrisch um das Profil angeordnet werden.

Wenn das Profil zum Ausweichen aus dem Meßfeld neigt, ist es zweckmäßig, daß das Profil insbesondere vor, ggfs. aber auch hinter der Meßebebene zwangsgeführt wird. Bei Profilen mit relativ starken Seitwärtsbewegungen im Bereich des Meßfeldes kann zwar auch Abhilfe geschaffen werden durch eine entsprechende Meßfeldvergrößerung, aber mit dieser Maßnahme sind entsprechend höhere Kosten verbunden, so daß eine Zwangsführung ein wesentlich einfacheres Mittel darstellt.

Für die Auswertung und Verknüpfung der lokalen Meßdaten ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Auswertung der lokalen Meßdaten mit einer Hardware, die Link-Adapter, Transputereinheiten und eine Transputer-Graphik umfaßt, in Parallelrechentechnik erfolgt, wobei die verwendeten Softwaremodule eine Profilbeschreibungsfeld, ein Referenzlagemodul sowie Kalibriermodul und Scannerdaten umfassen.

Einen sehr wesentlichen Teil der Erfindung bildet eine Einrichtung zum Messen von Profilen, die sich insbesondere zur Durchführung des vorgenannten Verfahrens eignet. Erfindungsgemäß sind hierfür in einer Meßeinrichtung mehrere Sonden sternförmig sowie mit vorgewählter Winkellage zueinander um eine Meßkammer angeordnet, und ihre Meßstrahlen sind im wesentlichen nach innen auf die Meßkammer richtbar, durch die das zu messende Profil axial hindurchbewegbar ist. Die Anzahl der anzuordnenden Sonden richtet sich danach, in wieviel Konturensegmente die Gesamtkontur des zu messenden Profils aufgeteilt werden muß. Die Meßstrahlen der sternförmig angeordneten Sonden werden radial nach innen auf das zu messende Profil gerichtet, das für die Messung durch die Meßkammer axial hindurchbewegt wird.

Zweckmäßig wird jede Sonde einem eigenen Sondenträger zugeordnet. An diesem ist sie derart einstellbar zu befestigen, daß der Meßstrahl sowie der reflektierte Strahl die Gewinnung der notwendigen lokalen Meßdaten von dem der Sonde zugeordneten Konturensegment des Profils zuläßt. Jeder Sondenträger wird an der innenliegenden Meßkammer befestigt.

Eine Weiterbildung der Erfindung ist gekennzeichnet durch abnehmbare Hauben, die mit bzw. an den Sondenträgern im wesentlichen geschlossene Sondenkammern bilden. Die Sondenkammern bieten Schutz für die Sonden gegen Beschädigung, sie geben aber auch die Möglichkeit zur Klimatisierung der Umgebungsatmosphäre der Sonden. Die Hauben sind, ggfs. in geteilter Ausführung, abnehmbar, um einen leichten Zugang zu den Sonden zu erhalten.

Erfindungsgemäß ist weiterhin vorgesehen, daß die Meßkammer gegenüber den Sondenträgern durch eine ringsum laufende Wandung mit Meßfenstern abgeteilt ist. Die Meßfenster gewährleisten den notwendigen Schutz der Sonden gegen thermische und mechanische Beanspruchungen sowie gegen Verschmutzung aus dem Bereich der Meßkammer. Darüber hinaus gewährleisten die Meßfenster bei sonst ringsum geschlossener Sondenkammer den freien Durchtritt für den Strahlengang.

Die Meßkammer ist erfindungsgemäß zur Bildung ei-

nes Ringkanals zum Hindurchführen strömungsfähiger Medien wie insbesondere Kühlwasser doppelwandig ausgeführt.

Auch diese Maßnahme dient zum Schutz der Sonden durch Konstanthaltung der Temperatur im Wandungsbereich.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß unterhalb bzw. neben der Meßkammer zwischen zwei Sondenträgern eine Wasserkammer mit Anschlüssen angeordnet ist, von der aus dem Ringkanal der Meßkammer Kühlwasser im Kreislauf zugeführt wird. Diese Anordnung läßt eine Integration der für den Kühlwasserkreislauf notwendigen Bau- und Anschlußteile in die Gesamteinrichtung zu.

Entweder statt des vorgenannten Kühlsystems in einem Ringkanal, der durch doppelwandige Ausbildung der Meßkammer gebildet ist, oder aber als Zusatzmaßnahme ist erfindungsgemäß weiterhin vorgesehen, daß ein Ringeinsatz, der aus zwei im Meßbereich durch außerhalb der Meßstrahlen verlaufende Verbindungsrohre miteinander verbundenen Ringkammern zur Hindurchführung strömungsfähiger Medien wie Kühlwasser gebildet ist, im wesentlichen coaxial in die Meßkammer einführbar und dort befestigbar sowie mit Anschlüssen für die Zu- und Abführung eines Strömungsmediums wie Kühlwasser versehen ist. Zur Freihaltung des eigentlichen Meßbereichs der Meßkammer ist der Ringeinsatz folglich vorzugsweise mittig unterbrochen bzw. in zwei Ringkammern unterteilt, die über außerhalb der Meß- und Reflexionsstrahlen liegende Verbindungsrohre miteinander verbunden sind.

Schließlich ist erfindungsgemäß auch vorgesehen, daß die Sondenkammern an ein Belüftungssystem zur Klimatisierung bzw. Konstanthaltung der Umgebungstemperatur der Sonden anschließbar sind, mit welchem Belüftungssystem den Sondenkammern klimatisierte bzw. in vorgegebener Weise temperierte Luft zugeführt werden kann.

Für dieses Belüftungssystem ist erfindungsgemäß ein Gehäuse an die Einrichtung ansetzbar, das mit der die Meßkammer auf einer Stirnseite abschließenden bzw. umgebenden Stirnwand einen ringförmigen Luftkanal bildet, der über Einlaßöffnungen mit den Sondenkammern verbunden ist.

Vorteilhafterweise ist auf der dem Belüftungssystem abgewandten Seite der Einrichtung eine Abdeckung befestigbar, in die beispielsweise auch eine Zwangsführung für das Profil einsetzbar ist.

Für den Gesamtaufbau der Einrichtung ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die sternförmige Anordnung der Sondenträger aus zwei im Abstand voneinander angeordneten und im wesentlichen einen nabenförmigen Mittelteil und hiervon sternförmig ausgehende Arme umfassenden Platten gebildet ist, die mindestens mittig durch axiale Stege bzw. durch die Meßkammerwände zu einer starren Konstruktion miteinander verbunden sind. Dieser Aufbau der Meßeinrichtung geht in einzelnen aus den nachfolgenden Erläuterungen der Zeichnungen hervor.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend mit Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. Soweit das erfindungsgemäße Verfahren betroffen ist, wird ein Ausführungsbeispiel hierfür ebenfalls anhand der Darstellungen in der Zeichnung beschrieben.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Skizze zur Veranschaulichung des Triangulationsprinzips, das bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet wird;

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Prinzips der Arbeitsweise der im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Sonden;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer prinzipiellen Anordnung von fünf Sonden zur Messung eines Rundprofils;

Fig. 4 eine Darstellung des Meßbereichs bzw. des Meßfeldes einer Sonde und der geometrischen Beziehungen am Beispiel eines Rundprofils;

Fig. 5 eine schematische Darstellung von fünf Sonden zur Messung von zwei verschiedenen Rundprofilen;

Fig. 6 eine rein schematische Darstellung der drei bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Einheiten Mechanik, Hardware, Softwaremodule;

Fig. 7 eine schematische Darstellung des Prinzips einer Netzwerktopologie als Blockschaltbild;

Fig. 8 eine ebenfalls schematische Darstellung der im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Softwaremodule für die Profilvermessung als Blockschaltbild;

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Meßeinrichtung in Vorderansicht mit einer Anordnung aus fünf Sonden ähnlich wie in Fig. 3 und 5;

Fig. 10 eine Vorderansicht der Meßeinrichtung, ähnlich wie in Fig. 9, jedoch zur Darstellung von Einzelheiten, teilweise im Schnitt;

Fig. 11 eine Rückansicht der Meßeinrichtung von Fig. 10;

Fig. 12 eine Draufsicht der Meßeinrichtung nach Fig. 10, 11;

Fig. 13 eine Seitenansicht der Meßeinrichtung von Fig. 10 bis 12 als Vertikalschnitt;

Fig. 14 eine Darstellung eines in die Meßeinrichtung integrierbaren Ringeinsatzes als Längsschnittdarstellung;

Fig. 15 eine Schnittdarstellung des Ringeinsatzes von Fig. 14 entlang der Schnittlinie A-A von Fig. 14;

Fig. 16 eine weitere Querschnittsansicht des Ringeinsatzes von Fig. 14, 15;

Fig. 17 eine Vorderansicht einer an die Meßeinrichtung anschließbaren Abdeckhaube;

Fig. 18 eine Draufsicht der Abdeckhaube von Fig. 17;

Fig. 19 eine Seitenansicht der Abdeckhaube von Fig. 17 und 18, teilweise als Längsschnittdarstellung;

Fig. 20 eine Vorderansicht eines an die Meßeinrichtung ansetzbaren Gehäuses zur Belüftung der Sondenkammern;

Fig. 21 eine Seitenansicht des Gehäuses von Fig. 20 als Vertikalschnitt entlang der Linie A-A von Fig. 20;

Fig. 22 eine weitere Darstellung des Gehäuses von Fig. 20 im Schnitt entlang der Linie B-B von Fig. 20;

Fig. 23 ebenfalls eine Darstellung des Gehäuses von Fig. 20 entlang der Schnittlinie C-C von Fig. 20.

In Fig. 1 ist rein schematisch die bei Anwendung des Triangulationsverfahrens benutzte Anordnung aus Laser, Linse, Objekt sowie Detektor mit vorgeschalteter Linse dargestellt. Ein Lichtstrahl markiert auf dem Objekt, das bei der Profilmessung einem Konturensegment entspricht, einen Punkt P, der durch die Empfangsoptik auf einen Detektor, beispielsweise eine positionsempfindliche Diode oder eine CCD-Zeile, abgebildet wird. Der Vorteil bei Verwendung von CCD-Zeilen ist der absolut feste Maßstab, da der Pixel-Abstand fest vorgegeben ist. Auflösung und Genauigkeit sind hierdurch bestimmt und betragen ± 1 Pixel. Durch die Neigung der Abbildungsrichtung gegenüber der Beleuchtungsrichtung wird erreicht, daß sich der Abstand H des Ab-

tastpunktes in eine definierte Punktbildposition auf dem Detektor umsetzt. Aus der Schwerpunktposition des Lichtflecks auf der Empfängereinheit und den geometrischen Daten der Anordnung errechnet sich damit der Abstand H. Durch die spezielle Anordnung, wie sie in Fig. 1 verdeutlicht ist, wird die Scheimpflugbedingung zur Tiefenschärferweiterung erfüllt.

Für die zweidimensionale Abtastung, wie sie bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Verwendung findet, wird gemäß Fig. 2 der, von der Sonde bzw. von dem Laser kommende Strahl durch gesteuertes Umlenken über das Objekt bzw. über das Konturensegment des Profils geführt. Die Umlenkung des Lichtstrahls erfolgt über steuerbare Spiegel (Galvanometerscanner), wie in Fig. 2 schematisch dargestellt ist, oder mit Hilfe von akustooptischen Modulatoren. Mit Einsatz z. B. eines Galvanometerscanners ist es möglich, den Lichtpunkt gezielt auf spezifische Oberflächenpunkte zu positionieren. Die steuerbaren Spiegel sind, fest gekoppelt, in den Beleuchtungs- und den Abbildungsstrahlengang eingebracht. Mit der im Prinzip dargestellten optischen Anordnung läßt sich eine sequentielle Abtastung der Profil- bzw. Objektkontur in einem bestimmten Segment durchführen, wie bereits vorhergehend im einzelnen erläutert worden ist.

In Fig. 3 ist eine prinzipielle Anordnung von 5 Triangulationsscannern bzw. Sonden S1, S2, S3, S4 und S5 dargestellt, die in einem 72° -Raster um ein zu messendes Profil RP angeordnet sind. Jede der Sonden weist einen Meßbereich auf, der für die Sonden S1 bzw. S2 jeweils eingezeichnet und mit MB1 bzw. MB2 bezeichnet ist. Die Sonden S1 und S2 sind gegenüber dem Rundprofil RP so positioniert, daß sie bestimmte Oberflächen- bzw. Konturensegmente abtasten, die innerhalb des Bereichs MB1 bzw. MB2 liegen. Die beiden Meßbereiche MB1 und MB2 zeigen eine breite Überlappung, die Voraussetzung für die Auswertung der lokalen Meßdaten zum Zusammenfügen des Gesamtbildes der Kontur des Profils erforderlich ist. Der jeweils wirksame Meßbereich der beiden Meßbereiche MB1 und MB2 ist wegen der Notwendigkeit der Überlappung etwas kleiner als der an sich zur Verfügung stehende Meßbereich jeder einzelnen Sonde S1 bzw. S2.

In Fig. 4 sind die geometrischen Beziehungen gezeigt, die sich zwischen dem Meßstrahl MS einer nicht dargestellten Sonde und der zu messenden Oberfläche des Rundprofils RP ergeben. Das der Sonde bzw. dem Meßstrahl MS zugeordnete Konturensegment des Rundprofils RP liegt im Meßbereich MB. Das eingezeichnete Rundprofil RP soll einen angenommenen Durchmesser von 30 mm haben. Der Meßstrahl MS trifft für einen Reflexionswinkel von $+45^\circ$ auf das Konturensegment auf. Der Reflexionswinkel wird zwischen der eingezeichneten Tangente an den Kreis bzw. die Segmentkontur im Auftreffpunkt und dem Meßstrahl MS genommen. Der Winkel γ berechnet sich zu:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin (90^\circ + \beta)} = \frac{r}{1}$$

$$\alpha = \arcsin \cdot \frac{(r \cdot \sin 135^\circ)}{1}$$

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - (90^\circ + \beta)$$

$$\gamma = 41,2^\circ$$

für $r = 15 \text{ mm}$

l = 160 mm

Damit wird durch eine Sonde ein Kontursegment von 82,4° von der Gesamtkontur des Rundprofils RP abgedeckt.

Aus der Darstellung in Fig. 5 geht hervor, wie mit einer Anordnung aus 5 äquiangular angeordneten (aber nicht dargestellten) Sonden mit entsprechenden Meßstrahlen MS1, MS2, MS3, MS4 und MS5 ein Gesamtmeßbereich MBG, der sich aus den nicht dargestellten Einzelmeßbereichen mit entsprechender Überlappung ergibt, gebildet wird. In diesem Meßbereich MBG können beispielsweise Rundprofile verschiedener Durchmesser gemessen werden. Wenn statt des größeren Rundprofils RPG das kleinere Rundprofil RPK, nämlich mit entsprechend kleinerem Durchmesser versehen, gemessen wird, ergibt sich nach dem erfindungsgemäßen Verfahren automatisch eine höhere Meßfrequenz, weil die Meßstrahlen der einzelnen Sonden das Profil nicht weiter abzutasten suchen, wenn keine Reflexion erfolgt.

Aus Fig. 6 ergibt sich das Gesamtsystem, mit dem das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist. Der erste Block zeigt als "Mechanik" die Anzahl der verwendeten Sonden. Der "Hardware"-Block umfaßt die Link-Adapter, die die Verbindung zum Transputersystem, dem eigentlichen Transputerboard, herstellen sowie die Transputer-Grafik. Dahinter folgt lediglich zur Veranschaulichung der Block für die "Softwaremodule".

In einem typischen Anwendungsbeispiel mit einem Auflösungsvermögen des Systems von 2/100 mm, einem Meßbereich von 40 x 40 mm und bei einer Meßfrequenz von 0,5 s ergibt sich eine Datenrate von 4000 Wertepaaren pro Sekunde und pro Scanner bzw. Sonde. Damit bietet sich die Parallelrechentechnik für die Datenaufnahme und Verarbeitung an. Des weiteren können Parameter, die aus der Lageberechnung und den Koordinatentransformationen gewonnen werden, an die benachbarten Sektionen, bzw. Transputer, weitergereicht werden. Eine mögliche Hardware-Topologie mit Vorverarbeitungsstufen, Überlappungsstufe und Masterstufe zeigt Fig. 7. Die Aufgaben der Koordinatentransformation, der Berechnung der Überlappingsdaten und Ausgleichsberechnungen sowie die Ermittlung der einzelnen Konturzüge und Vergleich mit dem Sollprofil wird auf die einzelnen Stufen verteilt. Da die Datenübertragungen in einem Transputer unabhängig von der CPU ablaufen, können die Arbeitsschritte Datenaufnahme, Datenbearbeitung und Datenweiterleitung zur gleichen Zeit ablaufen.

Bei der Profilmessung wird der Profilmittelpunkt ermittelt, um die Kontur in einer festen Referenzlage in das globale Koordinatensystem einzuzeichnen. Die statistischen Funktionen, die ebenfalls mit der Parallelrechentechnik durchgeführt werden, dienen zum einen für gewisse Ausgleichs- und Regressionsrechnungen und zum anderen der genauen Dokumentation der zu vermessenden Profile.

Einen besonderen Vorteil bietet die Möglichkeit, die Hardware äußerst modular aufzubauen. Die Anzahl der zu verwendenden Transputer richtet sich beispielsweise nach den oben aufgeführten Aufgaben, der grafischen Darstellung und der Anzahl der Scanner bzw. Sonden. Ein Richtwert für die Anzahl der benötigten Transputer lautet:

$$\text{Anzahl der Transputer} = 6 + 2 \cdot \text{Anzahl Sonden}$$

In der als Blockschaltbild in Fig. 7 dargestellten mög-

lichen Netzwerktopologie werden mehrere Verarbeitungsstufen unterschieden. Die Meßwerte werden von den Scannern bzw. Sonden geliefert, werden über Link-Adaptoren umgesetzt und zu dem jeweiligen zugehörigen Transputer der Verarbeitungsstufe A übertragen. Die Transputer der Stufe A übernehmen die Aufgabe der Ausblendung der Meßwerte links und rechts vom Objekt, d. h. der Meßwerte die nicht von dem zu vermessenden Profil reflektiert werden und die Transformationen der lokalen Koordinaten in das Referenzsystem wie die Datenweiterleitung an die Transputer der Stufe U.

Die Arbeitsstufe Ü (Überlappung) übernimmt die Bestimmung und den Ausgleich des Überlappingsbereichs. Sollten die Abweichungen von den jeweiligen benachbarten Scannern bzw. Sonden zu groß sein, wird eine Meldung generiert, die eine Neukalibrierung des Systems einleitet. Jeder Transputer der Stufe Ü erhält einen bestimmten Profilbereich, eine Profillinie, die zusammengesetzt genau das Profil wiedergeben.

Weitere Aufgaben sind die Übertragung der Teilparameter an die Verarbeitungsstufe M und die Übertragung des Linienzuges zur Weitergabe an die Darstellungsstufe.

Die Verarbeitungsstufe M berechnet aus den Teilparametern der einzelnen Linienzüge bestimmte charakteristische Größen, mit deren Hilfe das Profil positioniert und ausgerichtet werden kann. Stimmen Position und Ausrichtung nicht mit der des Sollprofils überein, so werden Korrekturparameter an die Stufe A abgegeben, d. h. die Koordinatentransformation wird durch einen Regelkreis so bearbeitet, daß das Objekt in Lage und Position mit dem Sollprofil übereinstimmt.

Die Transputer der Stufe M übernehmen auch die Ablaufsteuerung. Zur Darstellung des Profils und seiner Abweichungen wird eine Transputergrafikkarte mit einem hoch auflösenden Bildschirm z. B. 1024 x 768 Pixel eingesetzt. Zur Bedienung, Protokollierung und Abspeicherung von charakteristischen Daten dient ein PC. Aufgabe des PC's ist auch die Erfassung des Sollprofils, die Verwaltung der Sollprofile sowie die Übergabe des Sollprofils und der Sollparameter an das Transputer-Netzwerk.

Mit Bezug auf das Blockschaltbild nach Fig. 8 für die Software-Module für die Profilvermessung ist anzumerken, daß zunächst ein Kalibrierprogramm notwendig ist. Dieses Programm errechnet mit Hilfe eines Referenzwerkstückes die exakte Position der Sonden im globalen Koordinatensystem. Das Referenzwerkstück besitzt genau gefertigte Abmessungen. Mit den bekannten Abmessungen des Werkstücks und den aufgenommenen Meßdaten werden die kartesischen Koordinaten der Sonden und die Abstrahlrichtungen ermittelt.

Ein weiteres Programm ist das Referenzlagemodul. Dieses Modul ermittelt in Abhängigkeit von den Sondenkoordinaten, den lokalen Meßdaten der einzelnen Sonden und den Angaben für das Sollprofil das Istprofil. Unter Berücksichtigung von möglichen Materialbewegungen wird die Lage des Profils im globalen Koordinatensystem und werden die spezifischen Profilabmessungen berechnet.

Des weiteren existiert eine Profilbeschreibungsdatei, in der die Daten für die Sollprofile angegeben werden.

Ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Meßeinrichtung, allgemein mit 1 bezeichnet, ist der Darstellung von Fig. 9 zu entnehmen, zu der weitere Einzelheiten vor allem aus den Fig. 10 bis 13 zu entnehmen sind. Aus der Gesamtdarstellung in Fig. 9 ist ersichtlich, daß fünf Son-

denträger 2 mit gleichem Winkelabstand sternförmig zur Aufnahme jeweils einer Sonde 3 zur Messung eines Rundprofils 4 in einer Meßkammer 5 angeordnet sind. Durch Fenster 6 zwischen den Sondenträgern 2 und der Meßkammer 5 haben die mit 7 bezeichneten Meßstrahlen der Sonden 3 Zugang zu der Kontur des zu vermessenden Rundprofils 4. Der Sondenträgerstern ist in ein Gehäuse 9 integriert, das auf einer Grundplatte 8 ruht.

Die Anordnung ist so ausgelegt, daß sich ein ausreichender Überlappungsbereich der einzelnen Sonden-Abtastbereiche ergibt. Der Überlappungsbereich ergibt sich aus den maximal zulässigen Reflexionswinkeln.

Die Sonden 3 sind in dem gewählten Ausführungsbeispiel so angeordnet, daß sie mit ihrem zulässigen Scannbereich ein Meßfeld der Größe 40×40 mm aufspannen. Die verwendeten Triangulationssonden 3 besitzen jeweils für sich einen Meßbereich von 70 mm und einen Tiefenmeßbereich von 30 mm. Die schnellste Abtastzeit, die sich aus der Positionierung und der Belichtung der CCD-Zeile ergibt, beträgt 2 ms.

Aus Fig. 10 ergibt sich, daß das Gehäuse 9 eine allgemein mit 12 bezeichnete Wasserkammer abschließt, die in zwei Hälften 13, 14 durch eine Trennwand 15 unterteilt ist. Die Meßkammer 5 ist, wie im einzelnen Fig. 10 zu entnehmen ist, zur Bildung eines Ringkanals 11 doppelwandig ausgeführt. Der Ringkanal dient zum Hindurchführen von Kühlmitteln wie insbesondere von Kühlwasser und weist die aus der Zeichnung ersichtliche Verbindung zu den Wasserkammerhälften 13, 14 auf. Das in die erste Wasserkammerhälfte 13 einströmende Kühlwasser wird im Kreislauf, wie durch eingezeichnete Pfeile veranschaulicht ist, durch den Ringkanal 11 hindurch und schließlich in die zweite Wasserkammerhälfte 14 zurückgeführt, um von dort wieder aufbereitet der ersten Wasserkammerhälfte 13 zugeführt zu werden. Auf diese Weise wird die Meßkammer 5 wirksam gekühlt bzw. temperiert.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die sternförmige Sondenträgeranordnung gebildet aus zwei im Abstand voneinander angeordneten Platten 20, 21, von denen die Sondenträger 2 als Arme ausgehen, während im gemeinsamen Innenbereich die Meßkammer 5 angeordnet ist. Wie insbesondere Fig. 12 erkennen läßt, sind die beiden Platten 20, 21 durch die Wände der Meßkammer 5 starr miteinander verbunden. Die Sondenträger 2 bestehen somit aus zwei in entsprechendem Abstand einander gegenüberliegenden Armen der Platten 20, 21 (vgl. Fig. 12, 13). Diese Wände des Sondenträgers 2 bilden jeweils mit einer Haube 22 eine geschlossene Sondenkammer, wobei jede Haube 22 aus zwei Gehäusehälften besteht, wie Fig. 10 zeigt.

In der teilweise geschnittenen Seitenansicht von Fig. 13 ist rein schematisch eine der Sonden 3 angedeutet, die an dem Sondenträger 2, gebildet durch den betreffenden Arm der Platte 20, angeschraubt wird.

Fig. 14, 15 und 16 zeigen einen Ringeinsatz 24, der doppelwandig ausgeführt ist und ebenfalls zur Kühlung der Meßkammer 5 dient. Der Ringeinsatz 24 besteht aus zwei Ringkammern 25, 26, die über Verbindungsrohre, im vorliegenden Fall drei Verbindungsrohre 27 verbunden sind. Durch ein Einlaßrohr 28 wird der Ringkammer 25 Kühlwasser zugeführt, aus der es über einen Auslaß 29 (Fig. 15) wieder austritt. Der Ringeinsatz 24 wird in die Meßkammer 5 eingeschoben und über Gewindestangen 30 (Fig. 13) positioniert und befestigt.

Fig. 17 - 19 zeigen eine ebenfalls mittels der Gewindestangen 30 an das Gehäuse 9 der Meßeinrichtung anschließbare Abdeckhaube 31, die für den Durchgang

der Gewindestangen 30 entsprechende Bohrungen 32 aufweist. Über einen Einlaß 33 (vgl. Fig. 17) wird Kühlluft zugeführt und unter der Abdeckhaube 31 zu der Meßkammer 5 geleitet. Mit 34 ist eine mögliche Zwangsführung für das zu messende Profil bezeichnet. Auf jeden Fall befindet sich hier die Öffnung für die Zuführung des in der Meßkammer 5 zu vermessenden Profils.

Fig. 20, 21, 22, 23 zeigt ein Gehäuse 35 eines Belüftungssystems, mit dem den Sondenkammern über Öffnungen 36 (vgl. Fig. 11) klimatisierte bzw. in vorgegebener Weise temperierte Luft zugeführt werden kann. Die Zuführung erfolgt über den Einlaß 37, von dort steigt die Kühlluft in dem zwischen der Platte 21 und dem Gehäuse 35 gebildeten Kanal nach oben, um von dort über die Öffnungen 36 in die Sondenkammern überzutreten. Die Öffnungen 38 dienen zum Hindurchführen von nicht dargestellten Befestigungsschrauben, die in entsprechende Gewindebohrungen 39 im sog. Nabenbereich der Platte 21 einschraubbar sind (vgl. Fig. 11).

Patentansprüche

1. Verfahren zum kontinuierlichen berührungsfreien Messen von Profilen, insbesondere von sich in axialer Richtung bewegendes Profilen, dadurch gekennzeichnet, daß Sonden, mit denen nach dem Triangulationsprinzip mittels eines Laserlicht-Meßstrahls ein Oberflächensegment eines Objektes in einem bestimmten Meßbereich der jeweiligen Sonde sequentiell bzw. punktwise nacheinander sowie mit variabler und voreinstellbarer Schrittweite bzw. Auflösung innerhalb des Meßbereichs kontinuierlich abgetastet wird und mit dem von der Objektoberfläche reflektierten und von einem feststehenden Empfänger aufgenommenen Strahl aufgrund der geometrischen Beziehungen der Abstand jedes Meßpunktes zur Sonde in Form lokaler Meßdaten bestimmt wird, in einer Halterung rings um das Profil sowie im Abstand von diesem und derart in vorbestimmten Winkellagen zueinander angeordnet werden, daß dem Meßbereich jeder Sonde als Oberflächensegment ein Konturensegment des Profils zugeordnet wird, wobei sich die Meßbereiche benachbarter Sonden überlappen und die zu messende Gesamtkontur des Profils durch die Meßbereiche erfaßt wird, und daß eine Systemkalibrierung mit einem konturen- und maßgenauen Referenzwerkstück durch Ermittlung der Sondenpositionen (drei Koordinaten, zwei Abstrahlwinkel) in einem Referenzkoordinatensystem vorgenommen wird und daß mit den Daten der Systemkalibrierung, den vorgegebenen Solldaten des Profils und den lokalen Meßdaten, die sich als Schnittpunkt des Meßstrahls mit dem Objekt ergeben, sowie mit einer Lageberechnung für das zu messende Profil und über Koordinatentransformationen die Konturensegmente in ein globales Koordinatensystem übertragen und zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrahlen der Sonden in in Achsrichtung des Profils parallel versetzten Ebenen auf das Profil gerichtet und reflektiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonden in gleich großen Winkelschritten symmetrisch um das Profil angeordnet werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß das Profil insbesondere vor, ggfs. aber auch hinter der Meßebebene zwangsgeführt wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertung der lokalen Meßdaten mit einer Hardware, die Link Adapter, Transputereinheiten und eine Transputer-Graphik umfaßt, in Parallelrechenstechnik erfolgt, wobei die verwendeten Softwaremodule eine Profilbeschreibungsdatei, ein Referenzlagemodul sowie Kalibriermodule und Scannerdaten umfassen.
6. Einrichtung zum Messen von Profilen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Meßeinrichtung sternförmig mit vorgewählter Winkellage zueinander mehrere Sonden um eine Meßkammer angeordnet sind und ihre Meßstrahlen im wesentlichen nach innen auf die Meßkammer richtbar sind, durch die das zu messende Profil axial hindurchbewegbar ist.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jede Sonde einem Sondenträger zugeordnet und an diesem einstellbar zu befestigen ist und die Sondenträger an der innenliegenden Meßkammer befestigt sind.
8. Einrichtung nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch abnehmbare Hauben, die mit bzw. an den Sondenträgern im wesentlichen geschlossene Sondenkammern bilden.
9. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–8, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßkammer gegenüber den Sondenträgern durch eine ringsum laufende Wandung mit Meßfenstern abgeteilt ist.
10. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–9, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßkammer zur Bildung eines Ringkanals zum Hindurchführen strömungsfähiger Medien wie Kühlmitteln doppelwandig ausgeführt ist.
11. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–10, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb bzw. neben der Meßkammer zwischen zwei Sondenträgern eine Wasserkammer mit Anschlüssen angeordnet ist, von der aus dem Ringkanal der Meßkammer Kühlwasser im Kreislauf zugeführt wird.
12. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ringeinsatz, der aus zwei im Meßbereich durch außerhalb der Meßstrahlen verlaufende Verbindungsrohre miteinander verbundene Ringkammern zur Hindurchführung strömungsfähiger Medien wie Kühlwasser gebildet ist, im wesentlichen coaxial in die Meßkammer einführbar und dort befestigbar sowie mit Anschlüssen für die Zu- und Abführung von Strömungsmedien versehen ist.
13. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–12, dadurch gekennzeichnet, daß die Sondenkammern an ein Belüftungssystem anschließbar sind, mit dem den Sondenkammern klimatisierte bzw. in vorgegebener Weise temperierte Luft zugeführt werden kann.
14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Schaffung eines Belüftungssystems ein Gehäuse an die Einrichtung ansetzbar ist,

das mit der die Meßkammer auf einer Stirnseite abschließenden bzw. umgebenden Stirnwand einen ringförmigen Luftkanal bildet, der über Einlaßöffnungen mit den Sondenkammern verbunden ist.

15. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–14, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere auf der dem Belüftungssystem abgewandten Seite der Einrichtung eine Abdeckung befestigbar ist.

16. Einrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6–15, dadurch gekennzeichnet, daß die sternförmige Anordnung der Sondenträger aus zwei im Abstand voneinander angeordneten und im wesentlichen jeweils einen nabenförmigen Mittelteil und hiervon sternförmig ausgehende Arme umfassenden Platten gebildet ist, die mindestens mittig durch axiale Stege bzw. durch die Meßkammerwände starr miteinander verbunden sind.

Hierzu 22 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

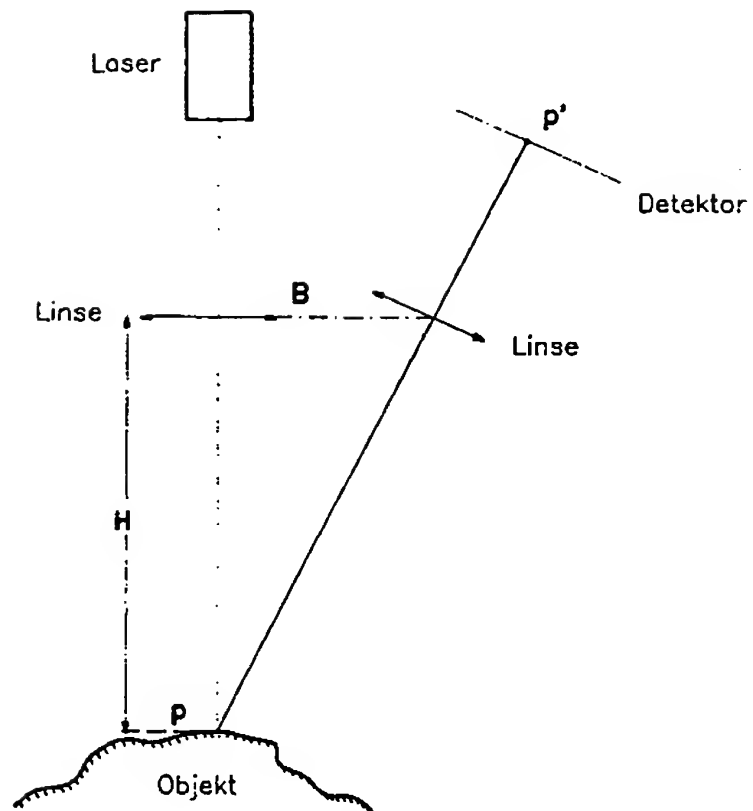
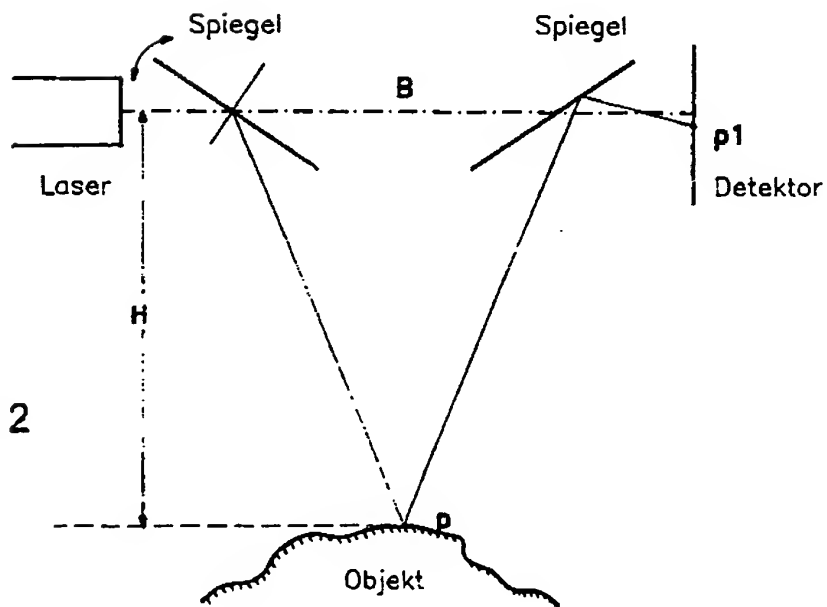


Fig. 2



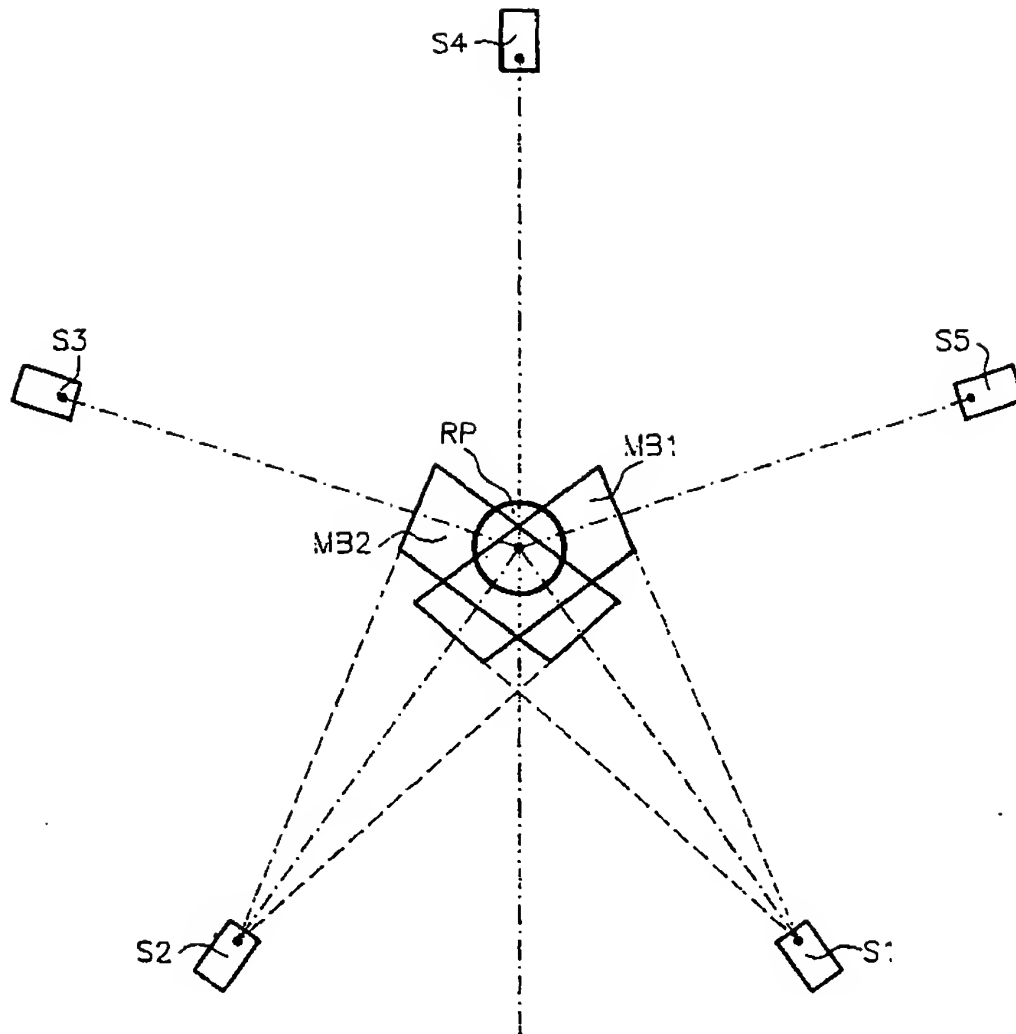


Fig. 3

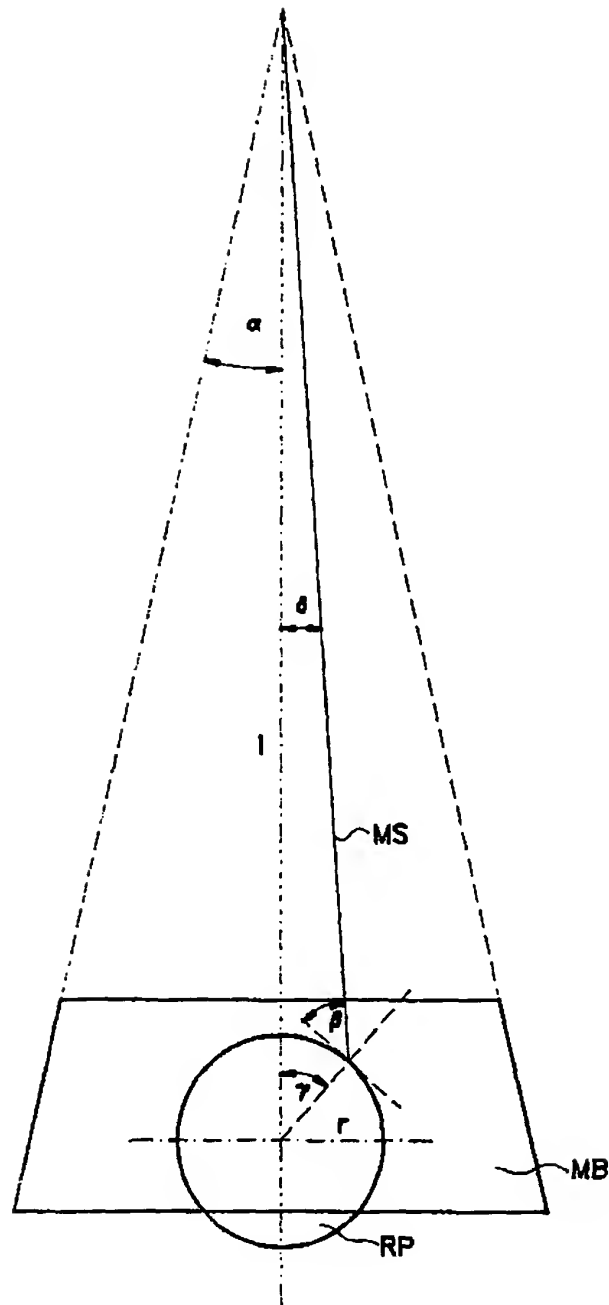


Fig. 4

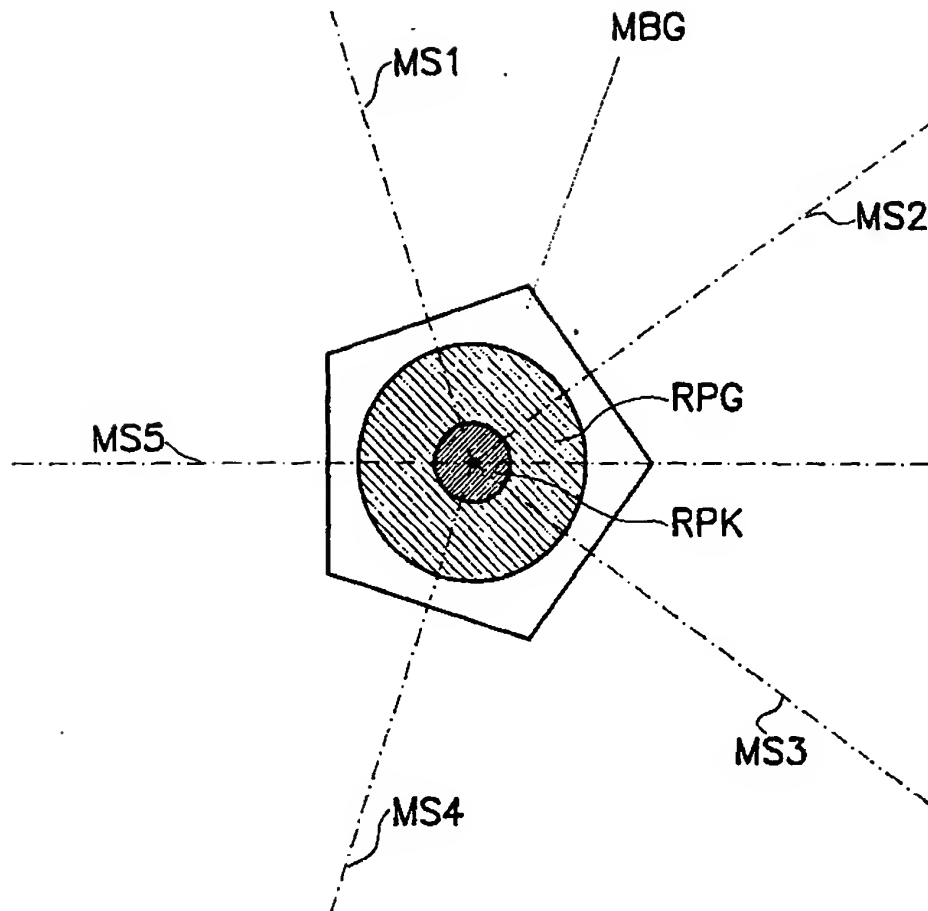


Fig. 5

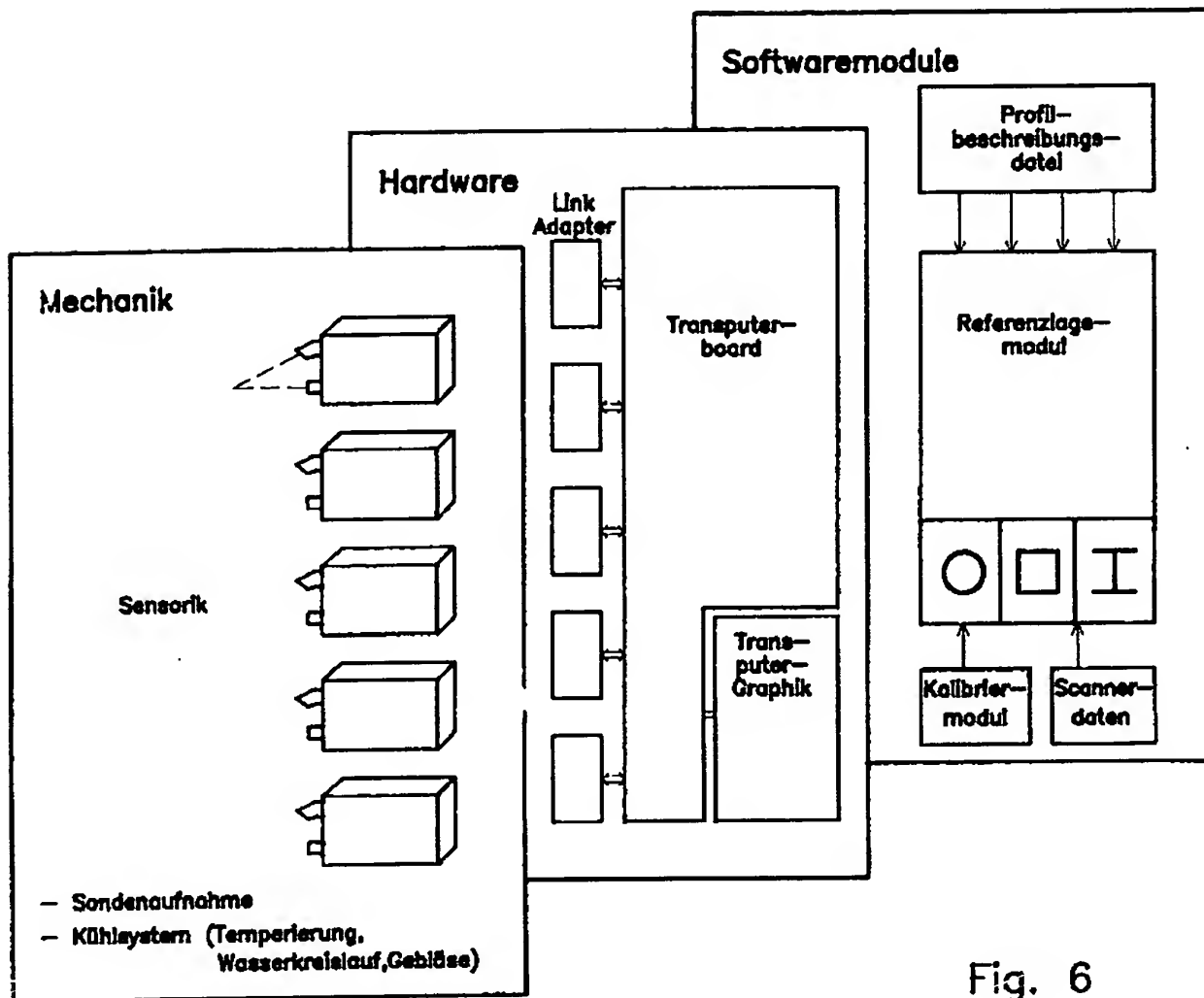


Fig. 6

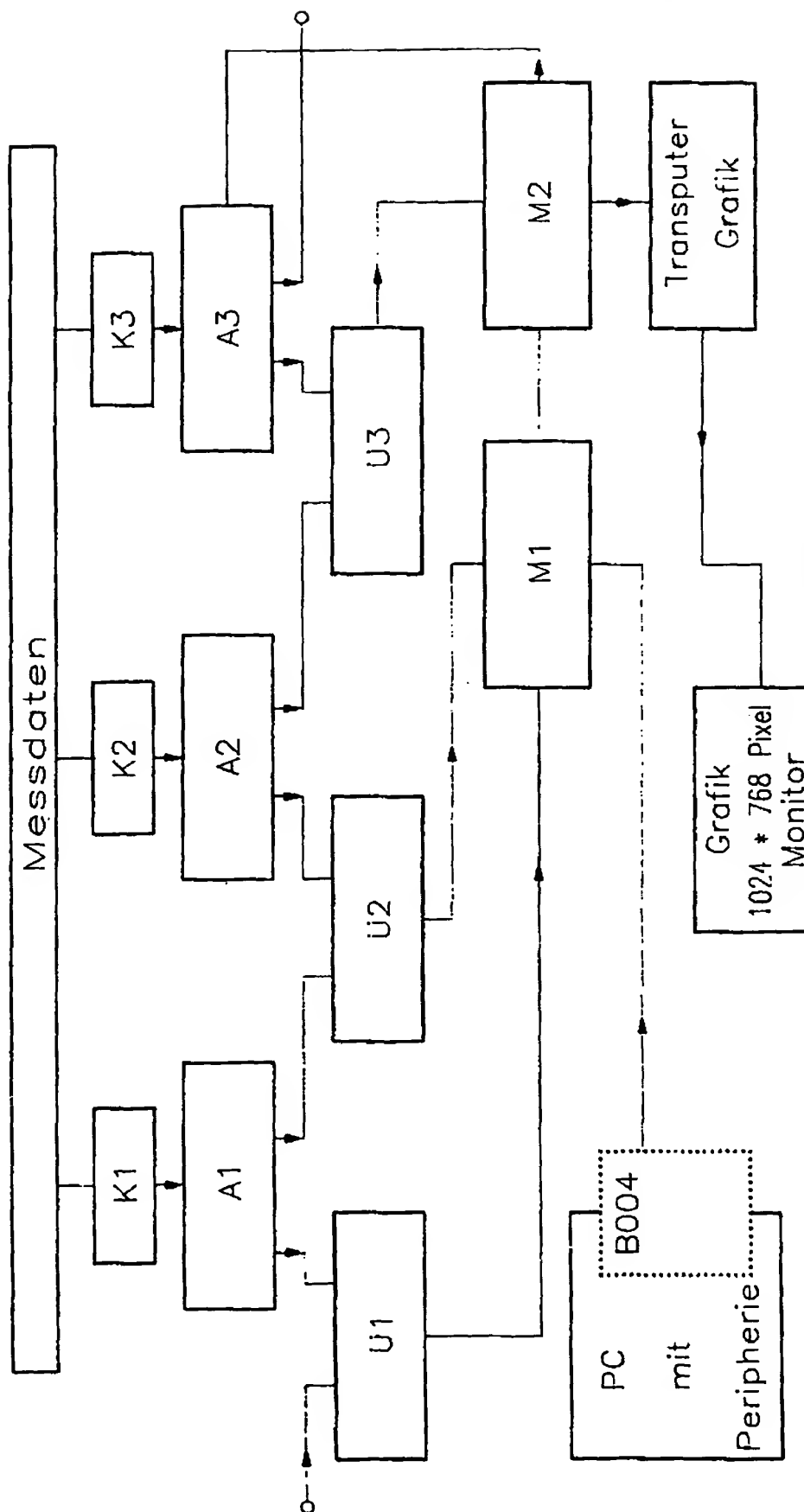


Fig. 7

Software-Module für die Profilvermessung

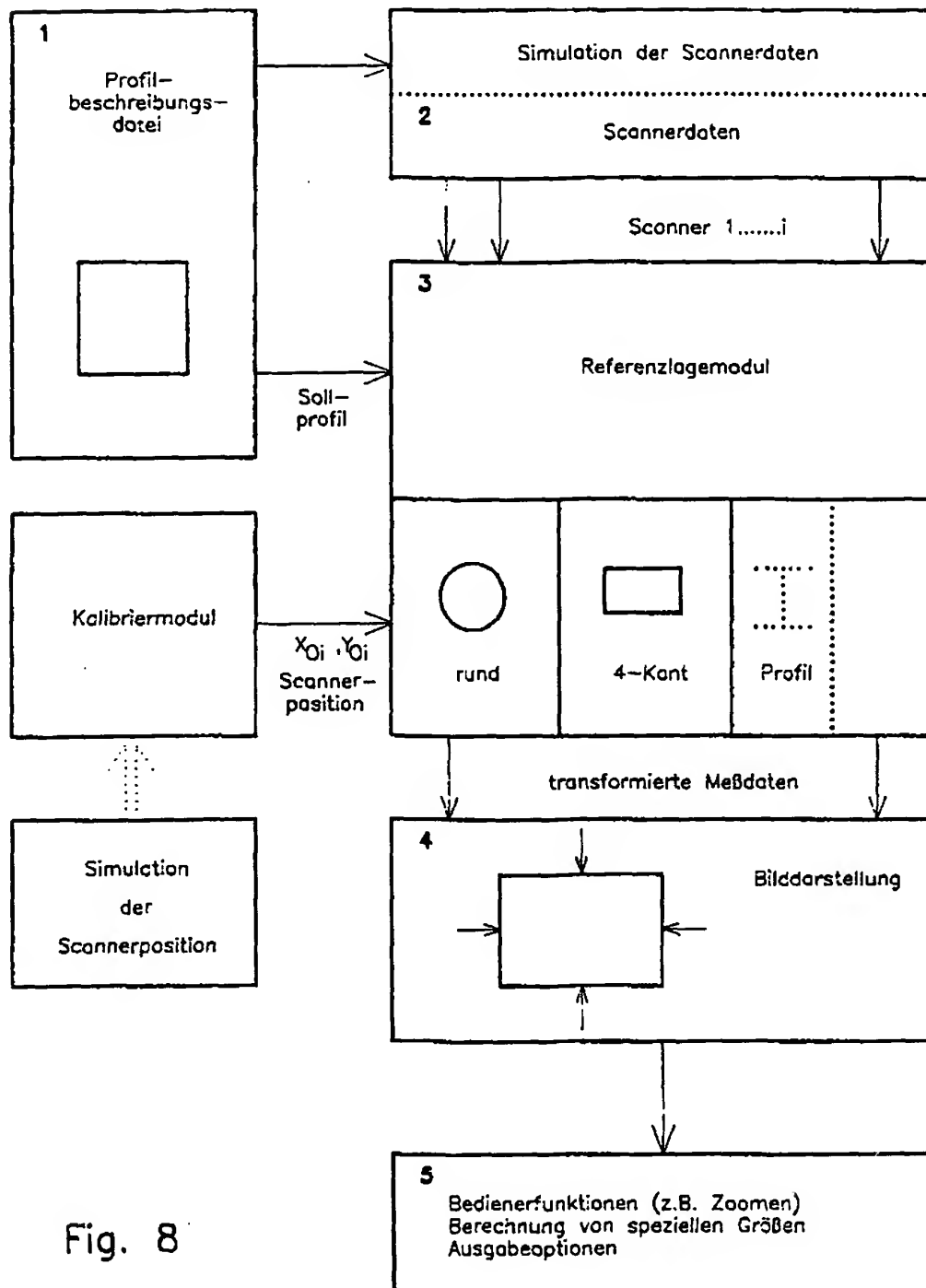


Fig. 8

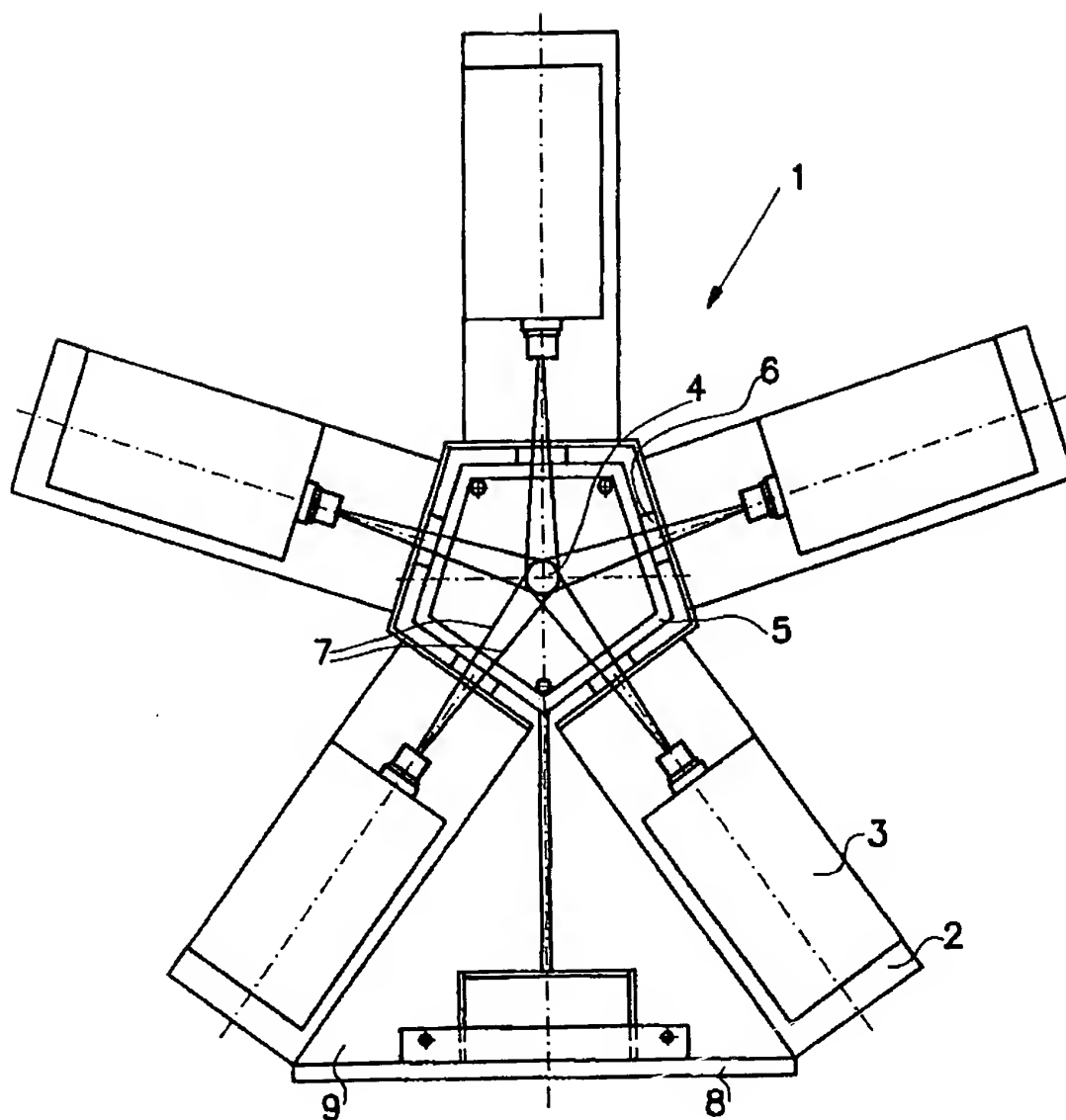


Fig. 9

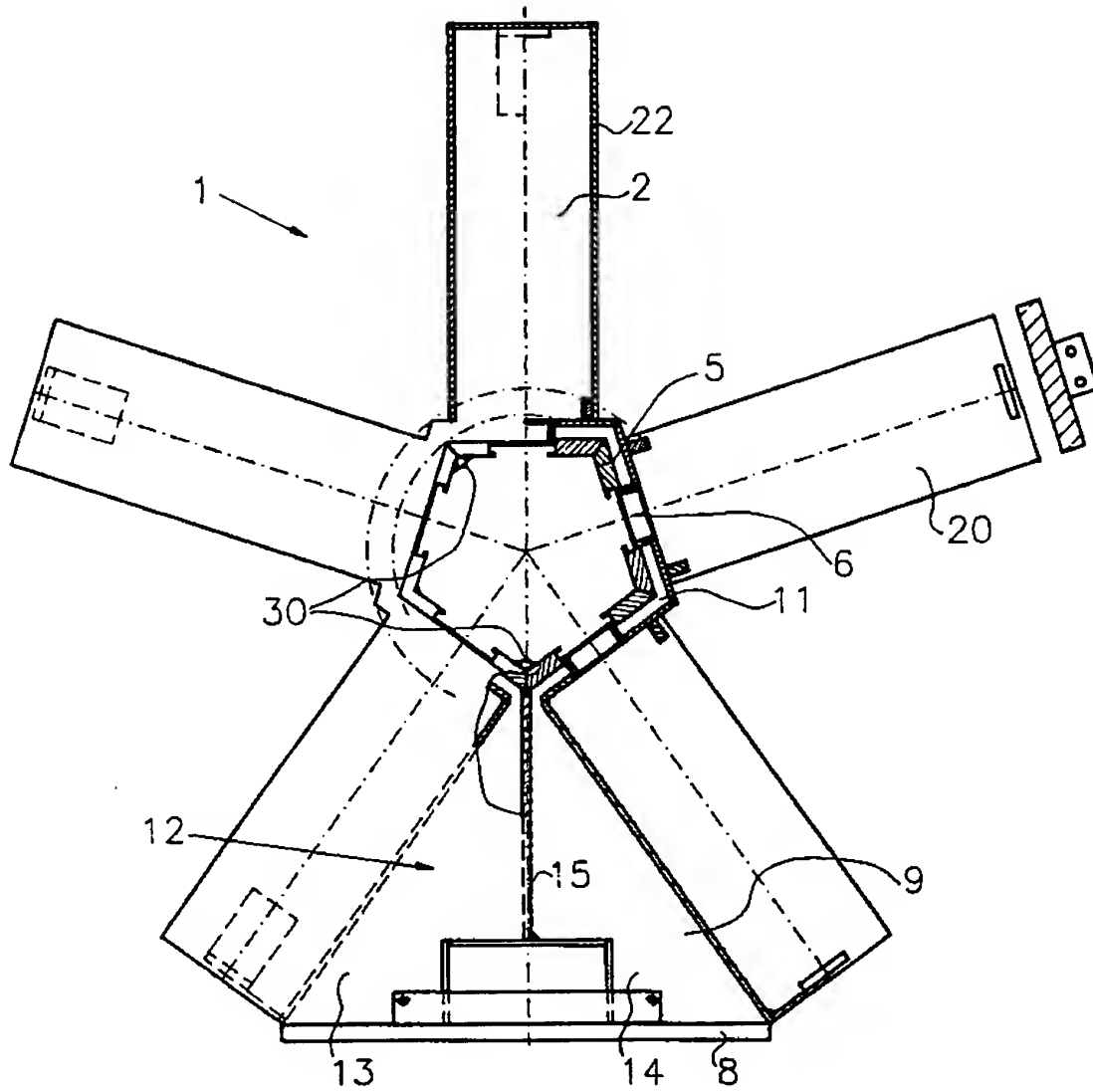


Fig. 10

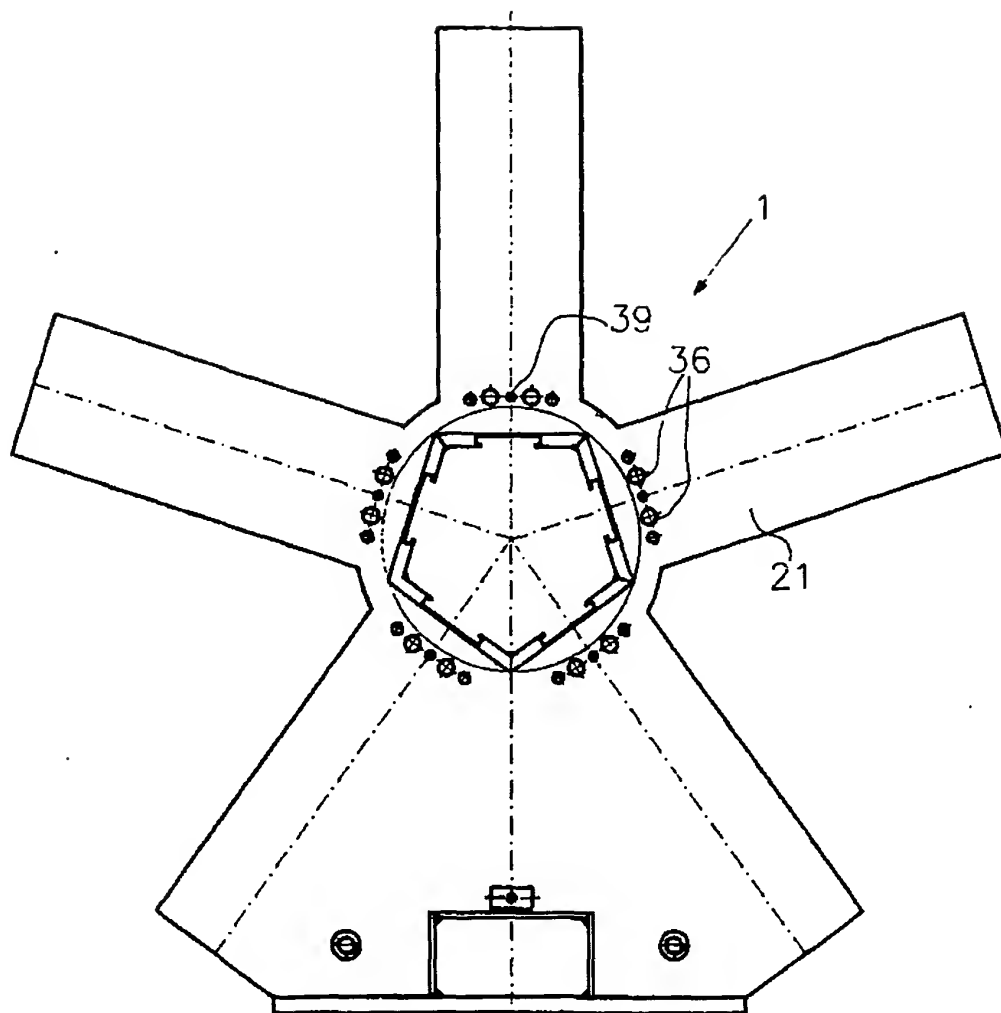


Fig. 11

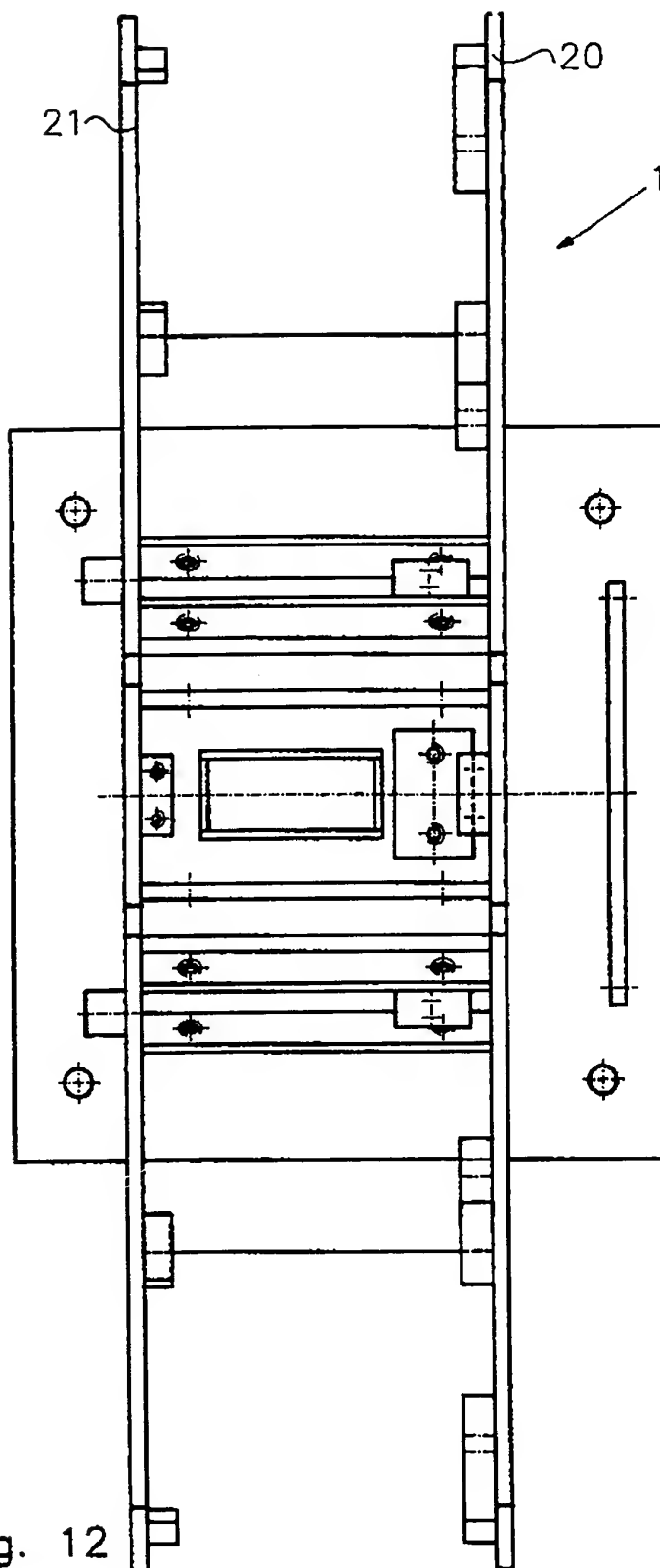


Fig. 12

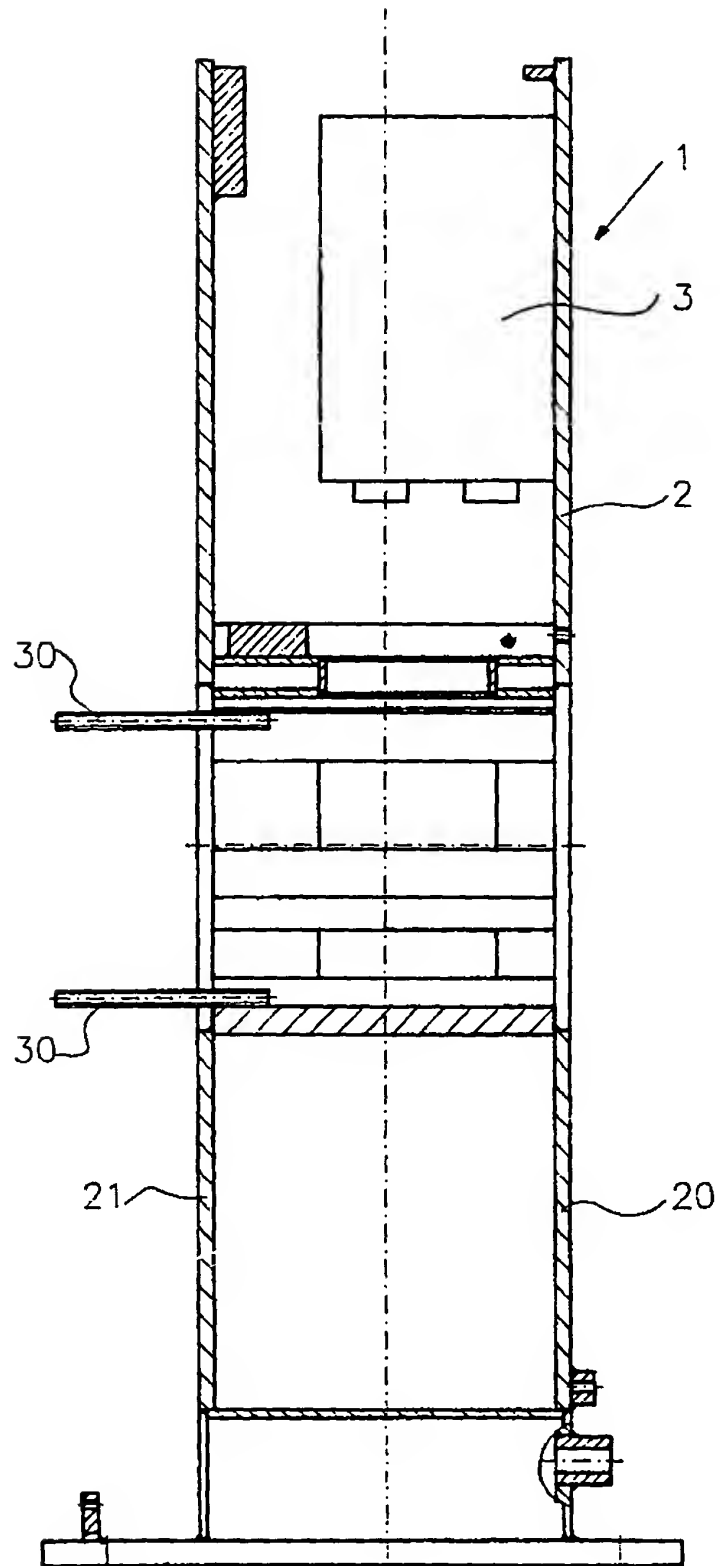


Fig. 13

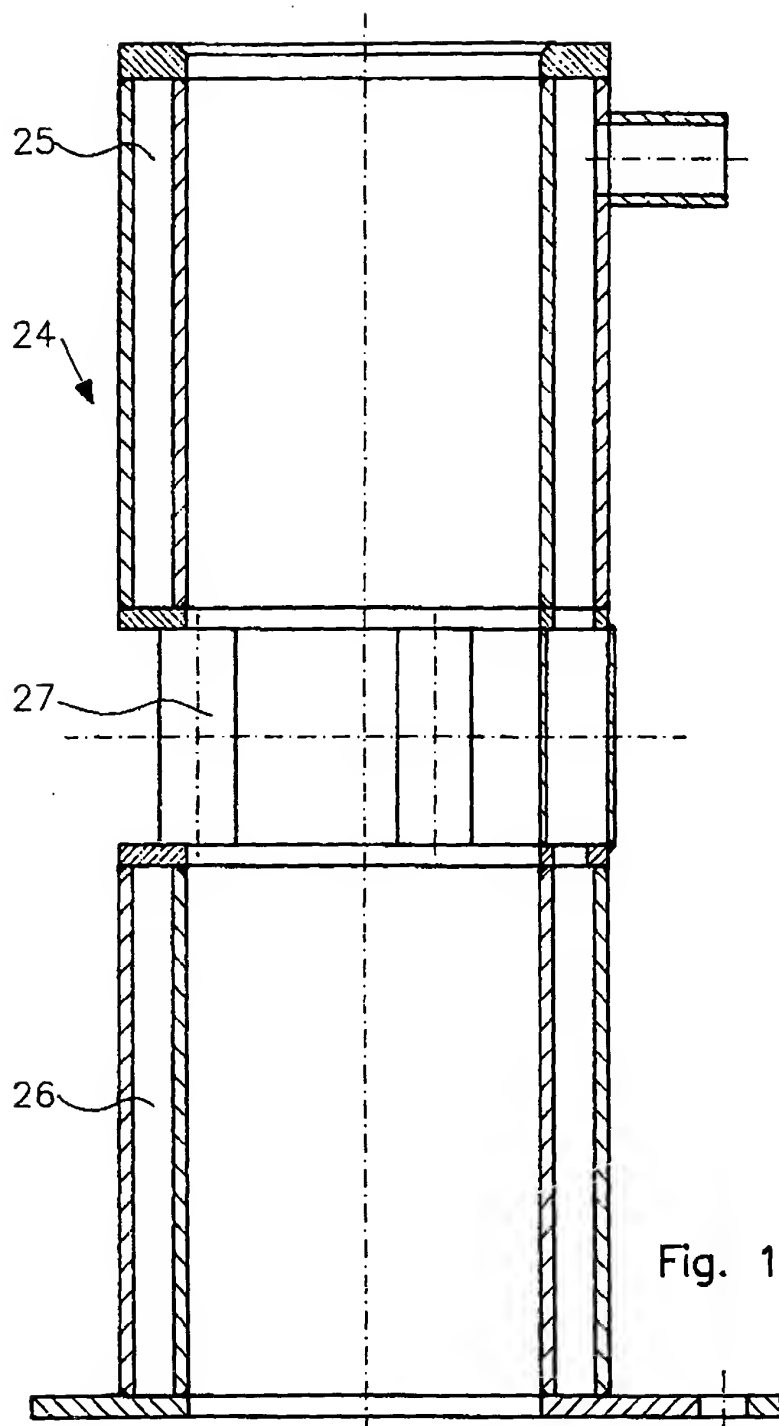


Fig. 14

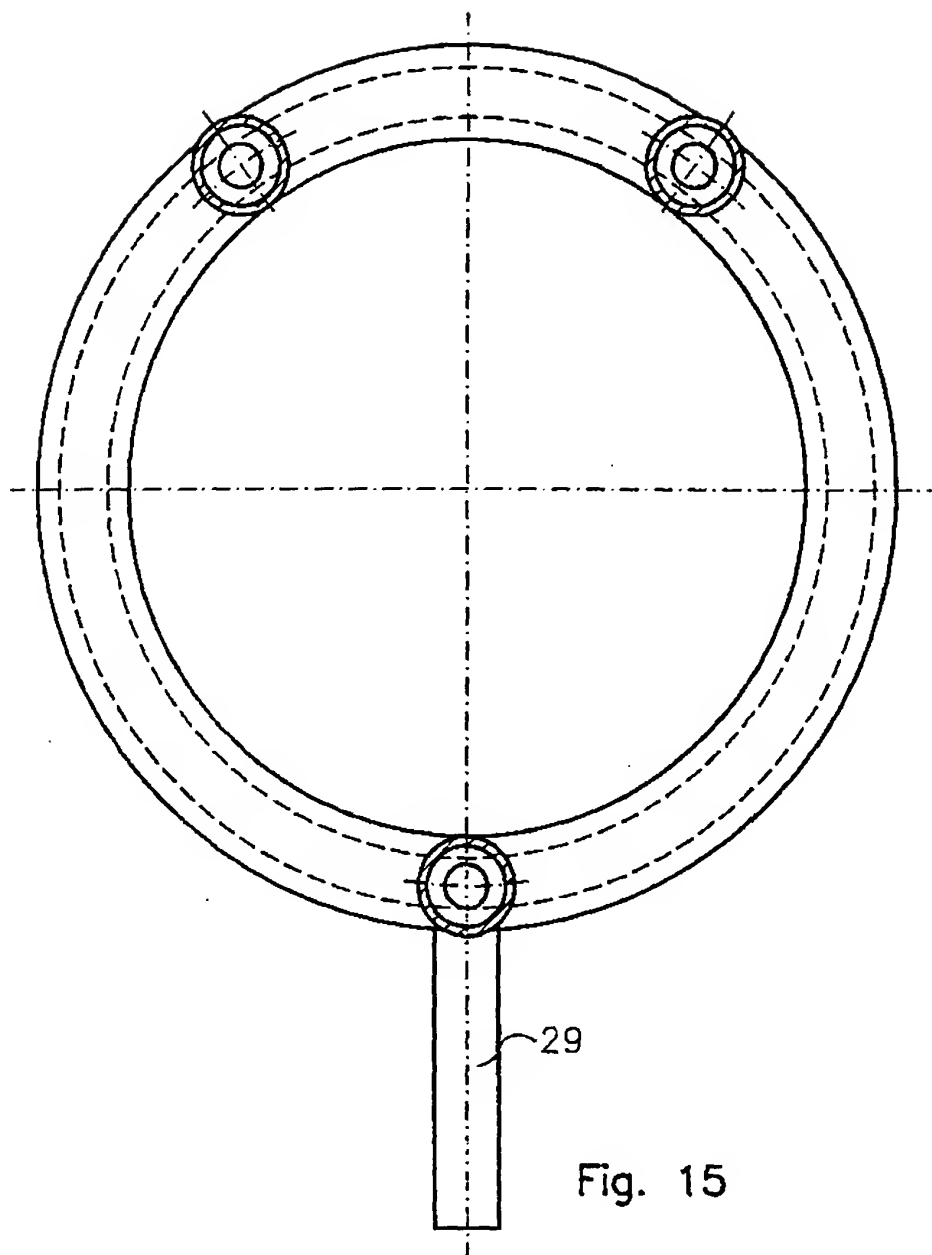


Fig. 15

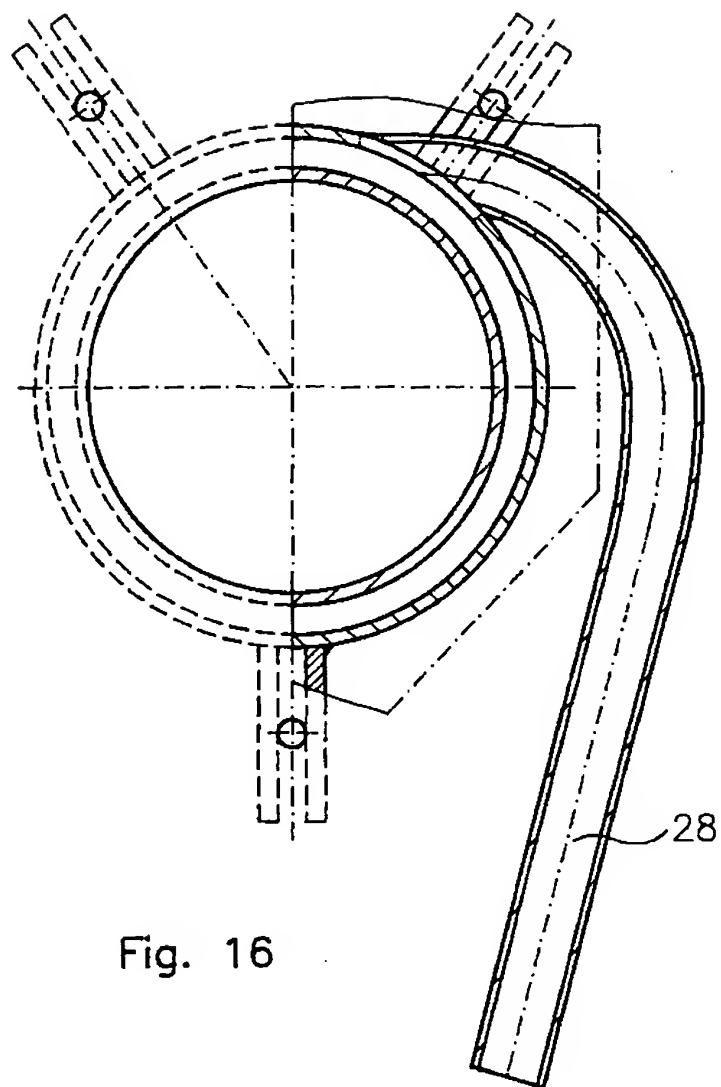


Fig. 16

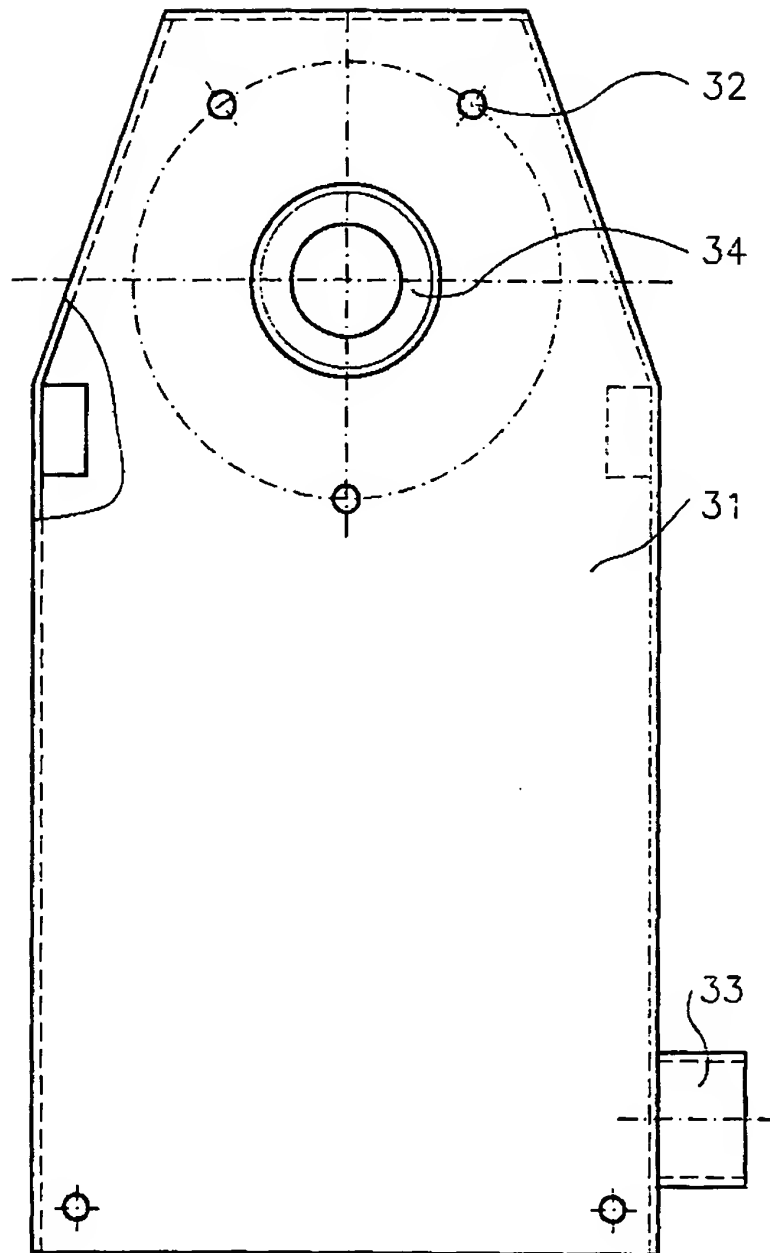


Fig. 17

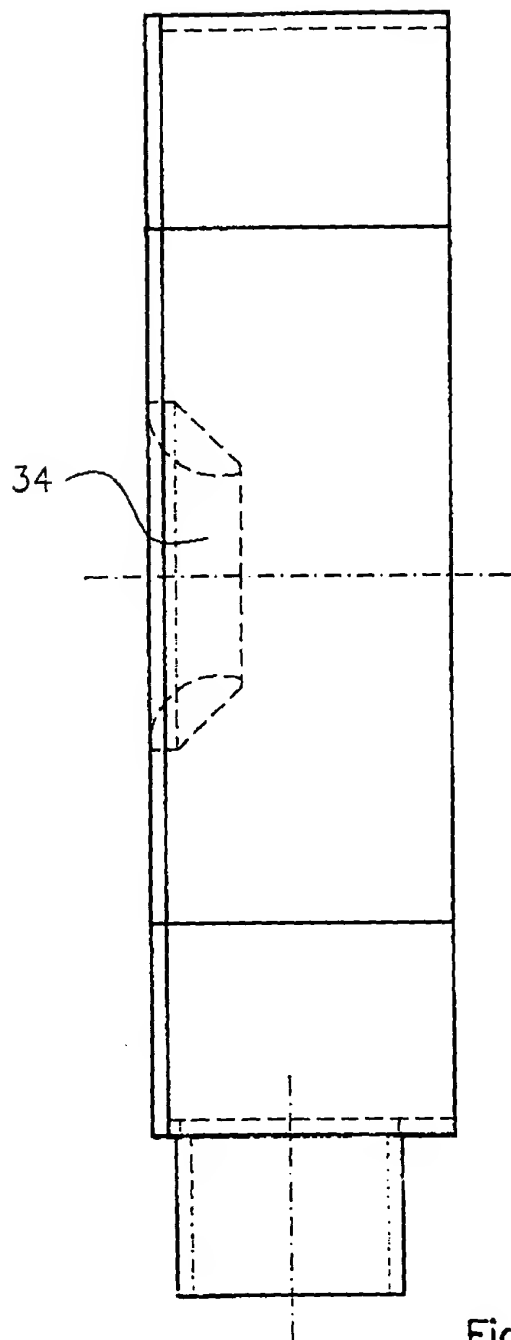


Fig. 18

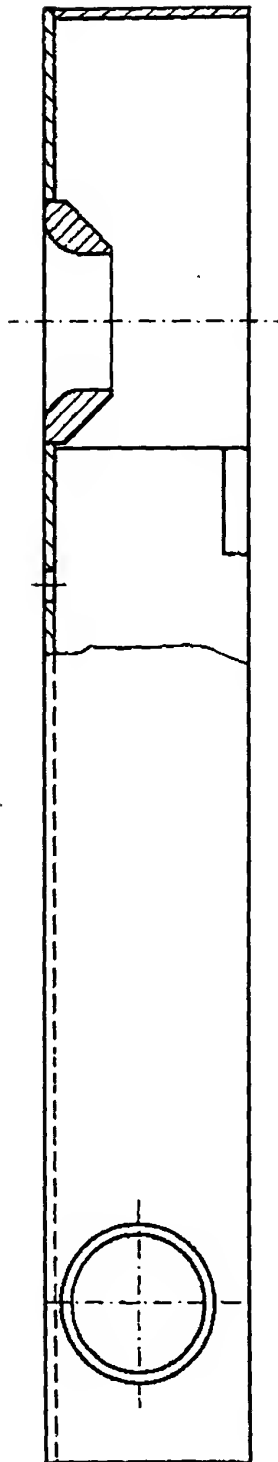


Fig. 19

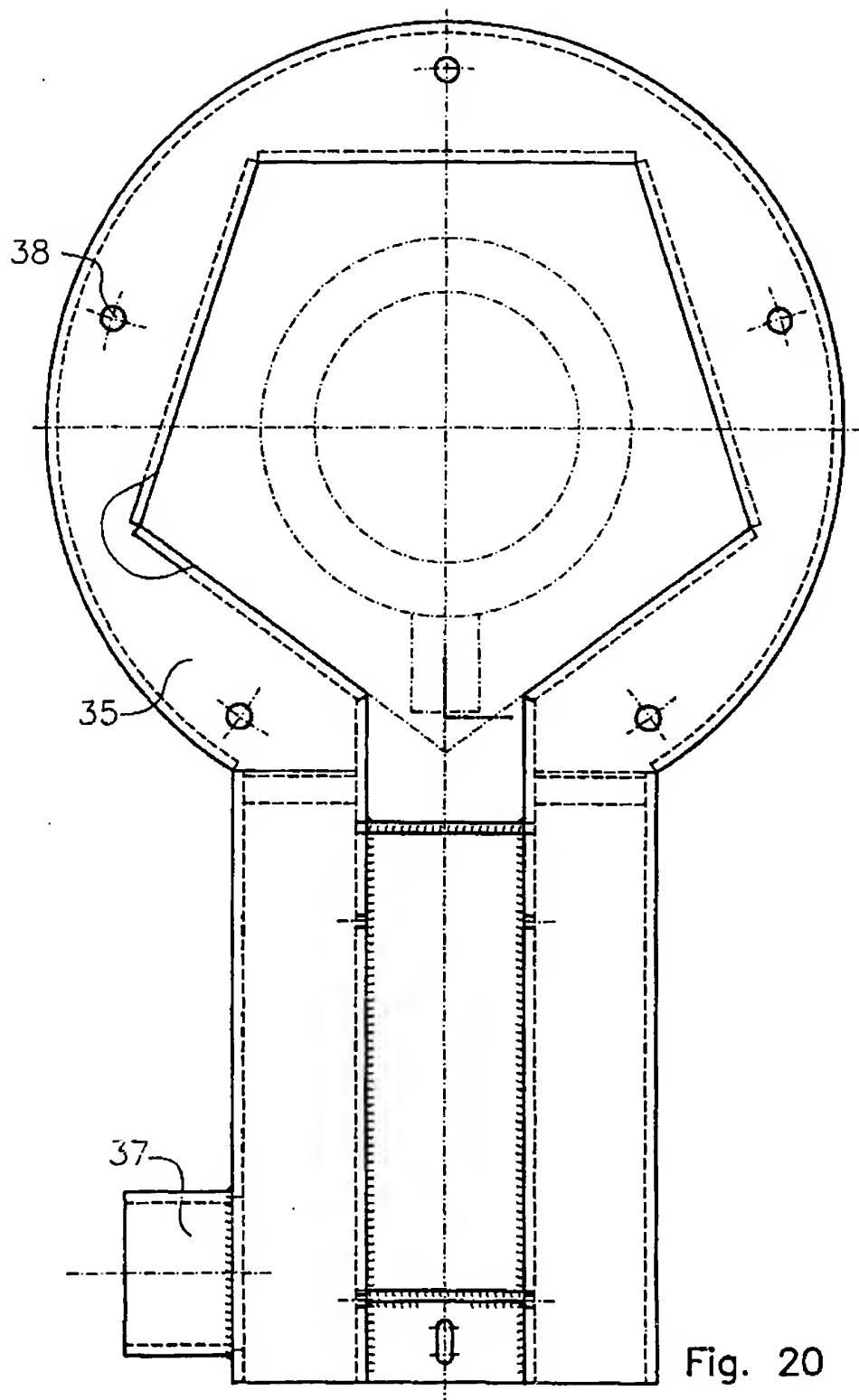


Fig. 20

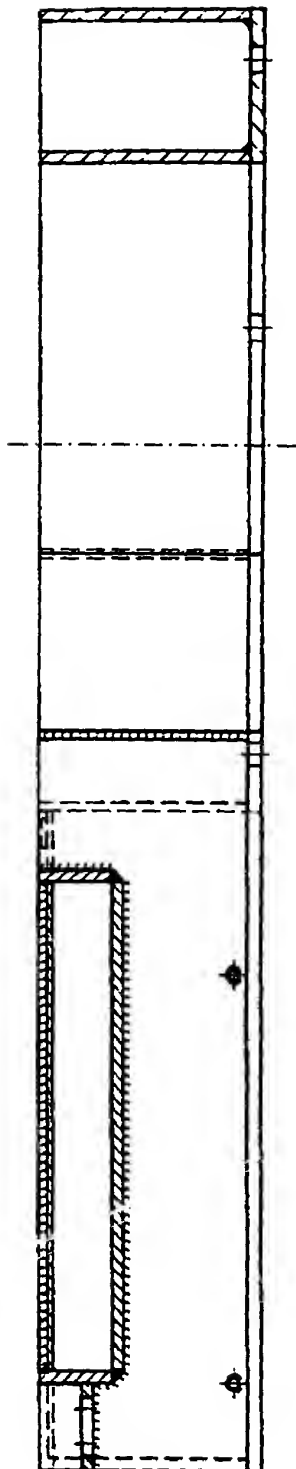


Fig. 21

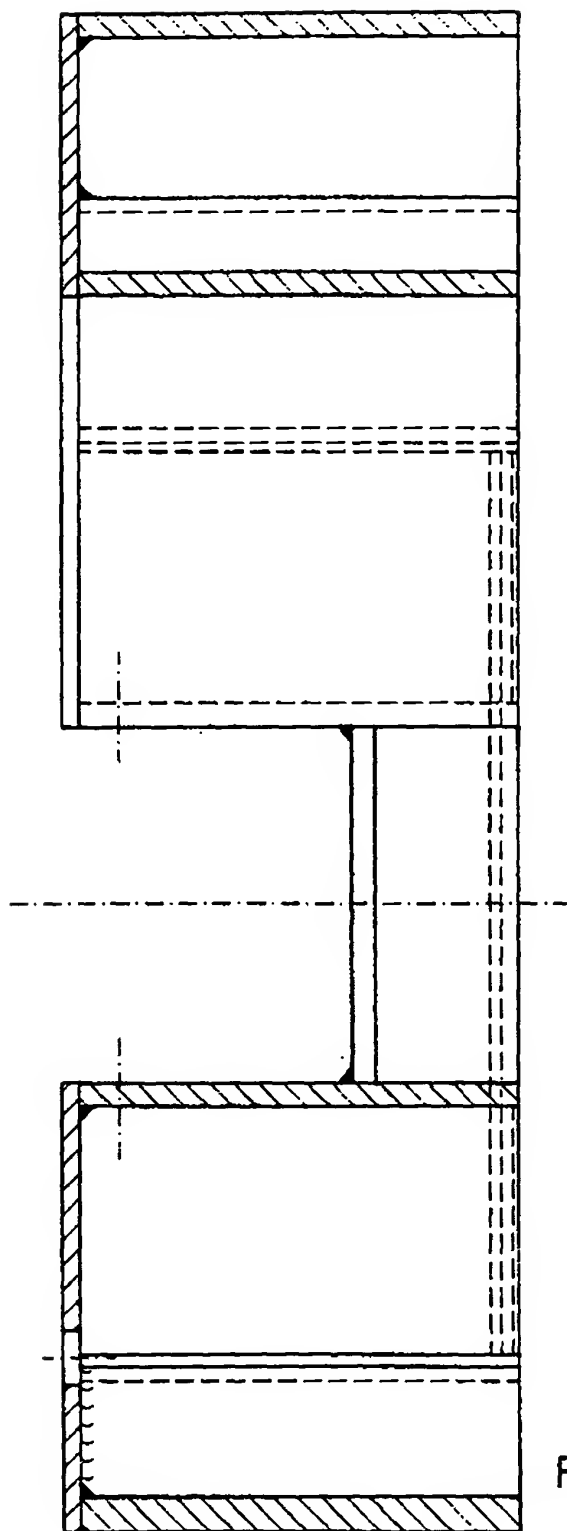


Fig. 22

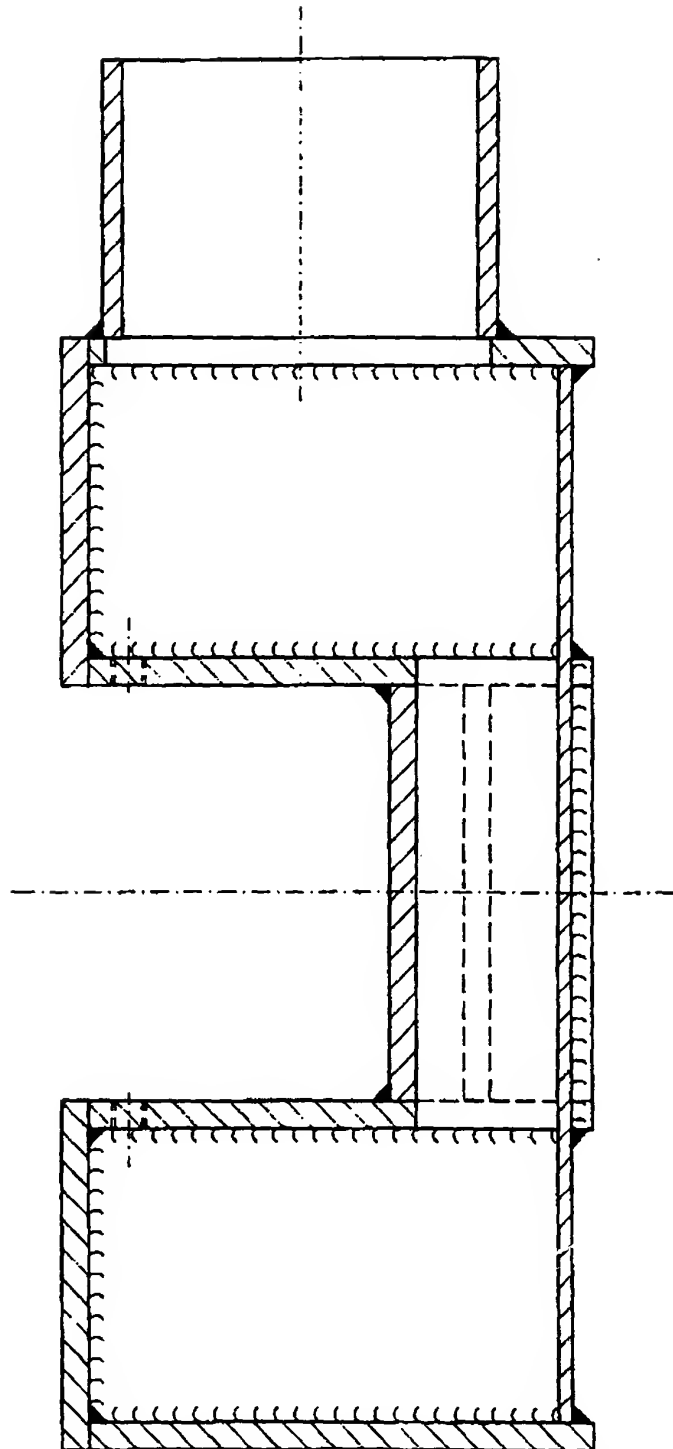


Fig. 23